

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÍNDICES DE DENSIDAD DE RODAL Y SU APLICACIÓN EN PLANTACIONES
COSTERAS DE PINO MARÍTIMO (*PINUS PINASTER* AIT.) EN LA RESERVA
FORESTAL DE CABO POLONIO, ROCHA

por

Gastón Carro
Arturo Iglesias

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2014

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. Juan Cabris De León

Ing. Agr. Carlos Mantero

Ing. Agr. Martha Tamosiunas

Fecha: 28 de julio de 2014

Autor: -----

Gastón Carro

Arturo Iglesias

AGRADECIMIENTOS

A los Profesores, Juan Cabris, Martha Tamosiunas y Carlos Mantero, por su constante apoyo, su asesoramiento y dedicación al trabajo. A Guillermo Moras por sus observaciones en la parte de dasometría. Así como a todo el Departamento Forestal de Facultad de Agronomía, por su apoyo.

A los técnicos del MGAP, el Ing. Agr. Gabriel Caldevilla, Ing. Agr. Tabaré Villamil y Ing. Agr. Lía Venturino por los consejos y guía en las primeras etapas del trabajo.

A los empleados de la reserva que nos ayudaron en la etapa de inventario en la reserva forestal, en especial al Sr. San Martín y el “Viruta”.

Agradecimientos de Gastón Carro:

A nuestras familias, amigos y compañeros que nos apoyaron durante largos momentos de incertidumbre y creyeron en nosotros y en este trabajo a pesar de los obstáculos.

A mi compañero de tesis Arturo Iglesias, que sin él no hubiera culminado este trabajo nunca, un guerrero incansable en las adversidades.

A la sucesión de eventos sincrónicos que me puso en este lugar, en este tiempo, para culminar ésta etapa de mi vida, de esta manera.

Agradecimientos de Arturo Iglesias:

A toda la familia por su apoyo constante, especialmente a mis padres, esposa e hijos, Juan Manuel y Macarena, quienes padecieron mis ausencias por el tiempo invertido en este trabajo y son los destinatarios de mis esfuerzos.

A mis compañeros y amigos de facultad y del trabajo por el impulso siempre necesario.

A Gastón Carro que a pesar de los inconvenientes surgidos en este largo camino, mantuvo el espíritu de lucha, y la fe necesaria en nuestras posibilidades para alcanzar el objetivo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1 ANTECEDENTES TÉCNICOS DE <i>PINUS PINASTER</i> Y USOS POTENCIALES	2
2.1.1 <u>Características silvícolas</u>	2
2.1.2 <u>Características de la madera</u>	3
2.1.3 <u>Usos potenciales</u>	4
2.1.4 <u>Principales usos comerciales en Uruguay</u>	5
2.1.5 <u>Antecedentes dasométricos</u>	5
2.2 RALEO	6
2.2.1. <u>Teoría del desarrollo y control de competencia en un rodal</u>	10
2.3 INDICADORES DE DENSIDAD DE RODAL	11
2.3.1 <u>Área basal</u>	13
2.3.2 <u>Índice de espaciamiento relativo</u>	14
2.3.3 <u>Índice de densidad relativa o índice de masa de Reineke</u>	15
2.3.4 <u>Densidad relativa</u>	20
2.4 DIAGRAMAS DE MANEJO DE DENSIDAD DE RODAL	21
2.5 EL RALEO Y FACTORES AMBIENTALES ADVERSOS: INCIDENCIA DE FUEGO Y VIENTO	23
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	25
3.1 UBICACIÓN	25
3.2 DESCRIPCIÓN DEL SITIO	26
3.2.1 <u>Geología</u>	26
3.2.2 <u>Suelos</u>	27
3.2.3 <u>Características del clima de la zona</u>	27
3.2.4 <u>Recurso forestal y vegetación existente</u>	29
3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS RODALES BAJO ESTUDIO	29
3.3.1 <u>Métodos de plantación</u>	29
3.3.2 <u>Tratamiento silvícola e infraestructura de las plantaciones</u>	30
3.4 INVENTARIO PRELIMINAR	30

3.5 INSTRUMENTAL UTILIZADO	31
3.6 RECONOCIMIENTO Y MAPEO DEL SITIO	32
3.6.1 <u>Etapa de gabinete – preparación de la etapa de campo</u>	32
3.6.2 <u>Etapa de campo</u>	32
3.6.3 <u>Segunda etapa de gabinete – procesamiento de datos</u>	32
3.6.4 <u>Sistema de clasificación de árboles según defectos</u>	35
3.7 INVENTARIO	38
3.7.1 <u>Muestreo preliminar</u>	38
3.7.2 <u>Definición del procedimiento de muestreo</u>	39
3.7.3 <u>Muestreo definitivo</u>	39
3.7.4 <u>Cálculo de factores de forma</u>	40
3.8. CUANTIFICACIÓN DE LA DENSIDAD DE RODAL	40
3.8.1 <u>Ajuste del modelo para los montes inventariados</u>	41
3.8.2 <u>Cálculo de IDR y sus límites máximos y mínimos</u>	43
3.8.3 <u>Cálculo de otros coeficientes silvícolas</u>	44
3.8.4 <u>Metodología para el cálculo de factor de espaciamiento y coeficiente de espaciamiento</u>	44
3.9 ELABORACIÓN DE DIAGRAMAS DE DENSIDAD	45
3.9.1 <u>Raleo</u>	45
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	49
4.1 MAPEO Y CÁLCULO DE SUPERFICIES DE RODAL	49
4.2 INVENTARIO	50
4.3 ESTIMACIÓN DE COEFICIENTES SILVÍCOLAS	53
4.3.1 <u>Ajuste del IDR para los montes inventariados</u>	53
4.3.2 <u>Cálculo de los valores críticos de densidad de rodal</u>	58
4.3.3 <u>Cálculo de coeficientes silvícolas</u>	58
4.3.4 <u>Comparación entre los distintos índices silvícolas</u>	62
4.4 CALENDARIO DE RALEOS	64
4.4.1 <u>Volúmenes</u>	67
4.5 DIAGRAMAS DE DENSIDAD	68
5. <u>CONCLUSIONES</u>	73
5.1 RECOMENDACIONES	74
6. <u>RESUMEN</u>	75
7. <u>SUMMARY</u>	76
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	77
9. <u>ANEXOS</u>	84

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Antecedentes dasométricos.....	5
2. Resumen de los tipos de raleos.....	8
3. Ejemplo de prescripción de raleos para pino negral.	9
4. Antecedentes de IDR y sus parámetros para otras especies de pino.....	19
5. Antecedentes de línea de densidad máxima para DR	21
6. Año de plantación y superficies calculadas por monte.	33
7. Sistema de clasificación propuesto.	36
8. Nomenclatura utilizada para la recolección de datos en las planillas de campo.....	37
9. Criterio de selección de árboles a ralear según defectos, en orden de preferencia decreciente	37
10. Coeficientes calculados después del raleo por parcela.	47
11. Resultados del muestreo de los montes de <i>P. pinaster</i>	52
12. Caracterización de los datos utilizados	53
13. Análisis de regresión.....	55
14. Coeficientes para la ecuación ajustada	55
15. Análisis de varianza	56
16. Resultados de prueba t.....	57
17. Coeficientes silvícolas calculados a partir del inventario.....	60
18. Criterio de interpretación de los coeficientes calculados	62
19. Resumen de análisis de regresión aplicado al IDR calculado con Ce, Fe (%) y DR, para el 95 % de confianza.	63
20. Determinación de los límites de competencia de IDR con los otros índices silvícolas.	64
21. Indicadores silvícolas resultantes de la simulación de raleo.	65

Figura No.

1. Zonas de distribución natural de <i>Pinus pinaster</i>	2
2. Gráficos de Langsaeter.	11
3. Curva de referencia y curvas paralelas para distintos IDR.	17
4. Curva de Langsaeter (1941), adaptada para IDR	18
5. Diagrama de densidad para <i>Pinus pinaster</i>	22
6. Imagen satelital de la zona del predio	25
7. Mapas climáticos del país para el período 1961 – 1990	28
8. Croquis del predio.	33
9. Mapa de suelos y unidades de vegetación	34
10. Croquis del predio.	49
11. Volumen de madera total en pie según clase diamétrica (cm.)	50
12. Contribución volumétrica según monte (m ³ totales)	51
13. Curva de regresion ajustada log N árboles/ha vs. log DAP medio cuadrático.....	54
14. Estudio de residuales.....	57
15. Gráfico de Probabilidad normal	58
16. Efecto del raleo sobre el IDR	66
17. Volumen a retirar de cada monte en el raleo.	67
18. Diagrama de densidad para Índice de Densidad de Reineke.....	68
19. Diagrama de densidad con Densidad Relativa	69
20. Diagrama de densidad con Coeficiente de espaciamiento.....	70
21. Diagrama de densidad con Factor de espaciamiento	71

1. INTRODUCCIÓN

Pinus pinaster Ait. es la especie más plantada en el litoral Atlántico y en costas del Río de la Plata de nuestro país desde la década de 1870. Fue introducida con el objeto de contención de dunas costeras para protección de áreas urbanas y de la producción pecuaria en establecimientos rurales, en principio en Maldonado (1874) y más tarde en Canelones (1909) y Colonia (ca. 1911). En el departamento de Rocha, la forestación de dunas con *P. pinaster* se inició en 1920 (Porcile, 2007).

En el presente documento se desarrollan alternativas para formular calendarios de raleo como parte de sistemas silvícolas para plantaciones de *P. pinaster* de la Reserva Forestal del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca en la zona de Cabo Polonio, Rocha.

El objetivo general de este trabajo es explorar el uso de diversos estimadores de densidad de rodal aplicados a la prescripción de calendarios de raleo en plantaciones de pino marítimo. Los objetivos específicos son:

1. Estudiar los valores base del Índice de Densidad de Rodal de Reineke (IDR) sobre una muestra de poblaciones de *P. pinaster* en la Reserva Forestal de Cabo Polonio, Rocha.
2. Estudiar los valores de Factor de espaciamiento (Fe %), Coeficiente de espaciamiento (Ce) y Densidad Relativa (DR) correspondientes a valores base de IDR sobre una muestra de las poblaciones de *P. pinaster* en la Reserva Forestal de Cabo Polonio, Rocha.
3. Evaluar las aplicaciones prácticas de estos valores traducidos a diagramas de densidad en la propuesta de sistemas silvícolas para *P. pinaster*, a los efectos del uso múltiple de las plantaciones costeras.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. ANTECEDENTES TÉCNICOS DE *Pinus pinaster* Y USOS POTENCIALES

Nombre científico: *Pinus pinaster* Ait. Nombres vulgares más conocidos: Pino marítimo, Pino de las Landas, Pino Gallego, Pino Negral (Remacha, 1987). Su distribución natural abarca zonas de Francia, España, Portugal, Italia, Marruecos, Argelia y Túnez (Sanz et al., 2006).

Es una de las especies forestales más importantes en Francia, Portugal y España.

En la Figura No. 1 puede verse la zona de distribución natural de pino marítimo, abarcando principalmente el frente oceánico de la Península Ibérica, Francia, Italia y norte de África.

Figura No. 1. Zonas de distribución natural de *Pinus pinaster*



Fuente: Alía y Martín (2003).

2.1.1. Características silvícolas

Alcanza una altura promedio entre 20 y 30 m, pudiendo llegar a 40 m en condiciones excepcionales (Remacha, 1987).

P. pinaster se adapta bien a climas marítimos templados, tiene características de especie pionera. Registra altas tasas de crecimiento a alturas que van desde el nivel del mar a 1100 metros, con temperaturas medias anuales entre 11 y 15 °C, alta humedad

relativa y precipitaciones. En relación a las condiciones edáficas, es una especie muy tolerante, con preferencia por suelos livianos a arenosos y crece muy bien en suelos ácidos y pobres (Pinto, 2004). Es considerada una especie de rápido crecimiento, especialmente en la región atlántica, donde son comunes edades de rotación de entre 40 y 50 años, en otras regiones puede llegar a rotaciones entre 80 a 120 años (Alía y Martín, 2003).

El pino marítimo presenta un sistema radicular muy desarrollado y profundo, lo cual le confiere una buena resistencia a los vientos. Exhibe hojas aciculares en grupos de a dos, de color verde oscuro, largas y gruesas, con punta fuerte y punzante (Rodríguez et al., 1997). La corteza es áspera, gruesa y muy resquebrajada, en general su porcentaje es muy elevado. Cada año puede tener uno o dos crecimientos en altura; el segundo da lugar a un verticilo de ramas menores (Rodríguez et al., 1997).

Un defecto común asociado a esta especie es la falta de rectitud de fuste, dada por el crecimiento diferencial en diámetro y por la presencia de madera de compresión en gran parte del tronco (Sanz et al., 2006).

2.1.2. Características de la madera

La madera es de color blanco amarillento en la albura y rojizo amarillento en el duramen, con los anillos de crecimiento bien demarcados por el contraste entre los leños de primavera y de verano. Presenta nudos en general numerosos y relativamente grandes, de color pardo oscuro, normalmente sueltos y sin una distribución uniforme (Remacha, 1987).

La presencia de nudos sueltos o muertos se debe a la tendencia de *P. pinaster* a dejar morir las ramas por debajo de la copa. Entonces, al ir ensanchándose en diámetro, va generando nudos procedentes de ramas muertas. Estos reducen en forma importante el valor de la madera, ya que es uno de los principales criterios de clasificación de la madera, tanto para uso decorativo como estructural (Sanz et al., 2006).

Los peores defectos para usos estructurales son nudos, médula y madera juvenil. Los cultivos de esta especie están frecuentemente cerca del mar y por lo tanto, expuestos a frecuentes vientos que incrementan las bolsas de resinas, excentricidad de tallo y madera de reacción (Pinto, 2004). La madera de *P. pinaster* es muy resinosa, de dureza intermedia, grano grueso, buena resistencia mecánica y características intermedias de estabilidad dimensional (Rodríguez et al., 1997).

2.1.3. Usos potenciales

La madera de pino marítimo es utilizada como materia prima para aserrado, madera contrachapada, tableros de fibras y de partículas y en la industria de pulpa y papel. Es frecuentemente utilizado para elementos estructurales de techos, pisos, marcos de escaleras, componentes de construcciones prefabricadas de madera, mobiliario y ebanistería (Pinto, 2004). En todos estos casos, salvo en la producción de trozas para pulpa y papel, el sistema silvícola adecuado comprende la aplicación de raleos. En gran medida, el uso está condicionado a los defectos más frecuentes a considerar en la selección de los árboles en el raleo.

La presencia de curvaturas en las trozas incide en el rendimiento del aserrado industrial de la madera. Por esta razón, uno de los destinos más habituales de la madera de *P. pinaster* corresponde a su utilización en envases, embalajes y pallets. En estas aplicaciones, la madera se transforma en longitudes pequeñas, minimizando la incidencia de las curvaturas del tronco. Por ello, a diferencia de otras especies de coníferas europeas, que suelen procesarse en longitudes de hasta 6 metros, en el pino marítimo de forma general, no se superan los 2,5 m (Sanz et al., 2006).

Uno de los usos más tradicionales de la especie es el aprovechamiento de su resina, ya que ésta es de gran calidad. Por otro lado, debido entre otras cosas a su capacidad de crecer en suelos muy pobres y bajo prolongadas condiciones de sequía, es utilizada en programas de repoblación forestal, tanto para producción de madera como para protección del suelo (Alía y Martín, 2003).

Esta especie se cultiva para forestar zonas de dunas por su adaptación a la arena marítima. Es una especie psamófila (Cozzo, 1995).

Según Gartland y Serra (1967), que describen dos técnicas de fijación de dunas, éstas presentan tres etapas, formación de una duna artificial, establecimiento de una pradera y forestación, primero con cortinas protectoras (con *Acacia longifolia* entre otras especies) y luego la forestación propiamente dicha. En este esquema *Pinus pinaster* y *Pinus halepensis* se utilizan en la primera línea, a barlovento de las dunas, debido a su resistencia a los vientos marinos.

Por otra parte en lo que se refiere a la viabilidad económica de este tipo de plantaciones, Gartland y Serra (1967), concluyen, con base en los crecimientos de los montes de la localidad de Miramar, Argentina, que es posible forestar la superficie que ocupan las dunas, con rendimientos económicos, además de su función principal de bosque protector. Con raleos oportunos, que pueden ser absorbidos por la industria celulósica regional, realizando escamondo en unos 300 ejemplares selectos, con turno largo de corta final, a fin de obtener madera aserrada de primera calidad.

2.1.4. Principales usos comerciales en Uruguay

Según Tuset (1996) en las décadas de 1960-1970 *P. pinaster* era el pino más utilizado en la industria de la madera nacional. Sin embargo, ya en 1996 los volúmenes que entraban al mercado nacional de madera de pino marítimo eran superados por los de otros pinos como *Pinus taeda* y *Pinus elliottii*.

2.1.5. Antecedentes dasométricos

En el Cuadro No. 1 se presentan antecedentes dasométricos para *P. pinaster* obtenidos por los autores que se enumeran a continuación

Gartland y Serra (1967), en Miramar, Argentina a 1500 m.s.n.m., sobre la cresta de la duna;

Bouillard (1972), en San Clemente del Tuyú, Provincia de Buenos Aires, Argentina, sobre la duna, como parte del proceso de fijación y con mortalidad natural, a 400 y 200 metros de la playa respectivamente;

Cozzo (1973), en Firmat, Provincia de Santa Fe, Argentina, sobre suelos franco-arcilloso-humífero, a los 6 y 14 años de la misma plantación, encontrándose en la segunda instancia en pleno estancamiento;

Cuadro No. 1. Antecedentes dasométricos

Fuente:	Marco [m]	Edad [años]	Densidad [árb. /ha]	DAP medio [cm]	Altura media [m]	Área basal [m ² / ha]	Volumen [m ³ /ha]	Factor de forma	IMA [m ³ /ha /año]
Gartland y Serra (1967)	2,4x2,4	25	1737	17,7	12,5	42,55	265,7 c/corteza	0,5*	10,67
	2,5x2,5	25	1555	19,2	17,8	44,78	398,5	0,5*	15,94
Bouillard (1972)	2x2	17	1517	18,3	15	39	273	0,5*	16,00
	3x3	36	1203	21,0	12	42	231	0,5*	6,40
Cozzo (1973)	2,5x2,5	6	1490	13,8	7	22,5	75,6	0,56	12
		14	1150	22,1	14	44	280	0,53	20,00
Bonilla y Bottazzi (1964)	-	40-47	400	35,5	23,7	42,5	473,39	0,45	10,69

* Coeficientes mórficos tomados por los autores en forma arbitraria

Bonilla y Bottazzi (1964), en el Parque Nacional de Carrasco (Parque Roosevelt), Canelones, Uruguay, sobre duna y utilizando muestreo Bitterlich.

Exceptuando la referencia de Cozzo (1973), los demás montes fueron plantados como parte de un proceso de fijación de dunas en las distintas localidades, lo que se asemeja al cultivo en estudio.

2.2. RALEO

Según Hawley y Smith (1982), puede definirse “Sistema silvícola” como el plan completo de tratamiento silvícola durante la vida de la masa, incluyendo repoblación y cortas intermedias. Troup, citado por Hawley y Smith (1982), plantea que es el proceso por el cual se atiende, extrae y sustituye la producción de un bosque por nuevos cultivos, dando lugar a masas de un tipo característico. También, puede definirse como “el conjunto coherente de prescripciones que nos lleva a lograr de un cultivo forestal, los objetivos propuestos en términos productivos, económicos, financieros o sociales”.

Daniel et al. (1982) consideran el raleo es una operación realizada en un rodal de edad uniforme o en agrupaciones forestales del mismo tipo, en cualquier momento previo al comienzo del período de regeneración, en la que el objetivo es redistribuir el potencial de crecimiento o mejorar la calidad del rodal residual. Lo que lo diferencia de cortas de mejoramiento, liberación o limpieza, es que se talan algunos individuos de la especie deseada ya sea en rodales puros o mezclados. Para Shepherd (1986) el raleo parte de una adecuada selección y se realiza para acelerar el incremento en diámetro y mejorar la conformación media de los árboles remanentes.

Según Hawley y Smith (1982) se denomina raleo a “*las cortas hechas en masas inmaduras con el fin de estimular el crecimiento de los árboles que quedan y aumentar la producción de material utilizable de la masa*”, “*Se extraen los árboles en exceso con el propósito de concentrar la producción potencial en madera de la masa en un limitado número de árboles escogidos*”. Se trata entonces, de redistribuir el potencial productivo de la masa en los mejores árboles y de utilizar el total del material comercializable de la misma durante el turno. El mismo autor indica que en la aplicación de los raleos (claras) es necesario determinar el método, la cronología y la reserva que deberá dejarse después de cada raleo.

Shepherd (1986) denomina régimen de raleo a la secuencia total de operaciones de raleo e involucra: inicio del ciclo de raleos, el tipo de raleo, el intervalo entre raleos sucesivos, la intensidad de cada raleo y la severidad del régimen.

El propósito principal del raleo es rescatar y utilizar los recursos maderables que de otra manera, se perderían debido a la mortalidad natural. La aplicación de un calendario de raleos eleva los rendimientos de materiales comerciables al distribuir el potencial de crecimiento entre un número menor de fustes de mayor tamaño. El raleo permite seleccionar aquellos árboles útiles para la explotación, en lugar de los grandes e irregulares árboles dominantes producto de la selección natural (Daniel et al., 1982).

Según Shepherd (1986), en cuanto al inicio del ciclo de raleos, que se establezca competencia dentro del rodal resultará en una reducción de la tasa de incremento en diámetro de los árboles. El momento y la intensidad se verán influidos por clima, espaciamiento, la capacidad de crecimiento de la especie y calidad de sitio. Los raleos pueden iniciarse cuando los árboles son pequeños, de 4-10 años o cuando alcanzan un tamaño tal que pueden dar trozas para pulpa o un producto similar de pequeñas dimensiones, normalmente entre las edades de 10 a 25 años, dependiendo de la especie y clima y calidad del sitio.

Los intervalos entre raleos sucesivos dependerán de factores silvícolas, como la calidad del sitio, grado de competencia, sanidad y estabilidad del rodal, de factores económicos como costo de cosecha, oportunidades de mercado, rendimiento mínimo.

El intervalo será más breve en rodales jóvenes y en sitios de mejor calidad que en poblaciones maduras creciendo sobre sitios de baja productividad.

Shepherd (1986) señala que en la prescripción de un método de raleo no necesariamente se especifica cuantos arboles retirar. El peso del raleo será controlado si se indica la densidad residual del rodal. El control de la densidad residual del rodal puede ser logrado adoptando un cociente particular altura / espaciamiento y regular el número de árboles remanentes por unidad de superficie de acuerdo a éste.

El efecto global de los raleos constituye la severidad de raleo. El índice de severidad más fácilmente calculado es el cociente entre volumen retirado como raleos y el rendimiento total a lo largo de la rotación.

En el Cuadro No. 2 se presenta en forma sintética la descripción de los tipos de raleos más frecuentes descriptos en la bibliografía disponible.

Cuadro No. 2. Resumen de los tipos de raleos

Tipo de raleo	Descripción
Por lo Alto	Se liberan árboles de las clases dominante y codominante más útiles, eliminando otros árboles de las mismas clases peor conformados.
Por lo Bajo	Se liberan los árboles dominantes y codominantes eliminando las clases de copas inferiores.
De selección	Se eliminan todos los árboles que pertenecen a la clase dominante de copas, quedando liberados los árboles pertenecientes a las clases de copa codominante e intermedia.
Sistemático o mecánico	Se eliminan los árboles sin tomar en cuenta la clase de copa. En base a guías de espaciamiento o por surco.
Libre	Los árboles se talan sin apegarse a ninguno de los criterios anteriores. En base a la opinión del técnico en cuanto a qué es lo mejor para el desarrollo del rodal.

Fuente: Daniel et al. (1982).

Como antecedente de prescripción de raleo para pino marítimo se dispone de las recomendaciones de Del Río et al. (2006). Estos autores proponen una primera clara (en este texto, clara se emplea como sinónimo de raleo) para rodales con densidades altas (mayores a 1500 árboles/ha) a edades entre 10 y 20 años, dejando la densidad remanente en 1500 árboles/ha. Para poblaciones con densidades menores, la edad de raleo sería entre 20 y 40 años, dependiendo de la calidad del sitio (a mayor calidad de sitio, menor edad). Se propone como criterios de selección retirar los fustes de peor forma, bifurcados, muy ramosos y moribundos. El primer raleo, en parte sistemático para abrir calles para intervenciones futuras; entre calles, el tipo de raleo aplicado es por lo bajo. En muchas situaciones el método sería raleo mixto (combinando raleo por lo bajo, por lo alto y de selección), dada la necesidad de extraer individuos defectuosos entre los dominantes y codominantes. Sólo en los mejores sitios se justifica raleo de selección. El peso del primer raleo rondará 25 – 30 % del área basimétrica, dejando como árboles seleccionados de porvenir los 300 a 400 pies/ha mejores en vigor y conformación. Se indica que, para que la intervención sea rentable, el volumen extraído debe alcanzar entre 30 a 50 m³/ha. Las siguientes claras serán de bajas a mixtas, eliminando los pies moribundos y peor conformados. El intervalo recomendado va entre 7 años para los mejores sitios hasta los 15 años en edades avanzadas y peores sitios.

En el cuadro siguiente se resumen las prescripciones mencionadas.

Cuadro No. 3. Ejemplo de prescripción de raleos para pino negral

Sitio	1° Raleo			Sigüientes raleos			Turno
	Edad (años)	Tipo de raleo	Intensidad (%)	Intervalo de raleos (años)	Número	Intensidad (%)	
Bueno	10-20	Raleo de Selección	25-30	7-10	4	25-30	60
Malo o bosque protector	20-40	Raleo sistemático, por lo bajo y mixto	25-30	10-15	3	25-30	80

Fuente: elaborado a partir de Del Río et al. (2006).

Otro antecedente de raleo en la especie que se puede citar es el ensayo realizado por Crecente et al. (2009), en un monte de 13 años, originado por regeneración natural, y con un raleo previo a edad 5 años para bajar su densidad a 3773 pies por hectárea. En este ensayo se comparan los efectos de aplicar al rodal una clara de selección en torno a los árboles de porvenir o por lo bajo, esta última en intensidad fuerte o moderada. En términos generales, se observó que en raleos por lo bajo el porcentaje de árboles extraídos fue mucho mayor al porcentaje de área basal extraída; los valores de los parámetros medios de la masa (como altura media y diámetro cuadrático medio) aumentan, el índice de Hart-Becking (índice de espaciamiento relativo a la altura dominante) también aumenta hasta valores adecuados, desde 18-20% a 5 - 7 puntos. Además en el raleo por lo bajo, a diferencia del raleo de selección en torno a individuos de turno final, mejora la estabilidad mecánica de la masa expresada mediante el Coeficiente de esbeltez, puesto que se retiran árboles de clases diamétricas inferiores, con fustes más delgados, susceptibles de daños por viento y nieve.

Por otro lado observaron que luego de la aplicación de un raleo de selección el porcentaje de árboles extraídos es similar al porcentaje de área basal extraída, los parámetros medios de la masa disminuyen y no varían el índice de Hart-Becking ni la estabilidad de la masa. Desde el punto de vista operativo incluye un doble señalamiento ya que se marcan los árboles de porvenir y los que se van a extraer. Además, al retirar la competencia de los árboles seleccionados, se acumulará un mayor volumen en estos, que a su vez son los más valiosos.

Como ya se mencionó para la selección de los árboles útiles para la explotación, es necesario considerar los defectos de fuste y conformación, en este sentido Frost y McKenzie (1976), Conway, citado por Venturino (2004), elaboraron

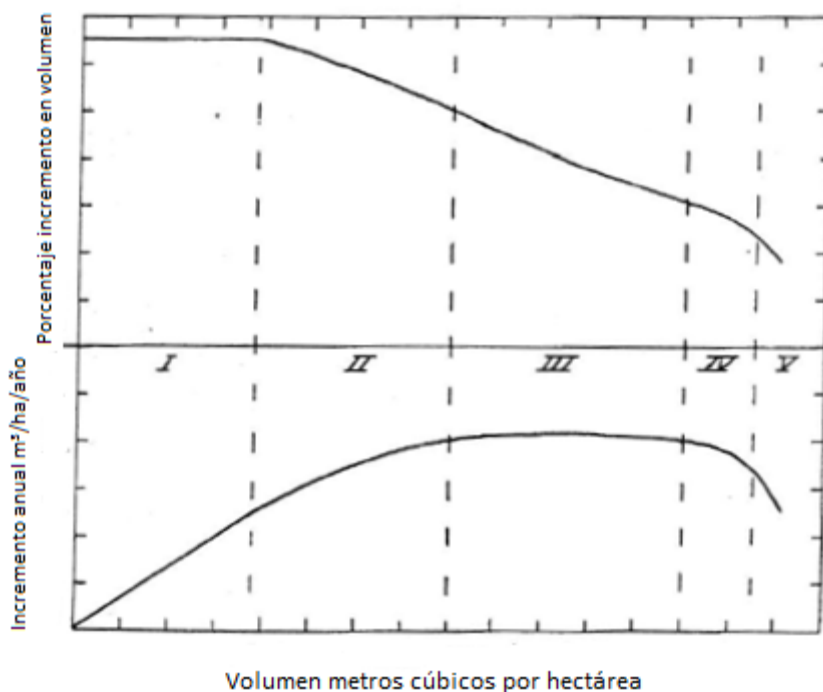
criterios para la selección de árboles en podas y raleos de *Pinus radiata*; en éstos se incluye una serie de defectos que condicionan la aptitud de uso de los árboles. Asimismo, Venturino (2004) registró una tabla de defectos de tallos en *P. pinaster* en los 10 m basales del fuste; bajo dicha clasificación se registraban defectos como Inclinado, Bifurcado, Torcido y Combado o Curvado.

2.2.1. Teoría del desarrollo y control de competencia en un rodal

Según Langsaeter (1941) los efectos de la densidad sobre la tasa de incremento en volumen ($m^3/ha/año$) pueden ser representados en una curva para valores específicos de calidad y clase de edad en la forma indicada en la Figura No. 2. Ésta se divide en 5 zonas de respuesta al aumento de densidad de rodal. En la zona I la densidad es muy baja y el incremento de masa es aproximado al de una línea recta a través del origen. Aquí por lo tanto el crecimiento de un árbol no afecta el crecimiento de los arboles vecinos. Podría decirse así que el crecimiento anual aquí es proporcional al volumen cúbico y la tasa de crecimiento es constante. En la zona II, la línea de incremento de masa se curva con el lado cóncavo hacia abajo; el crecimiento individual es inhibido por la creciente competencia entre los árboles vecinos. La tasa de crecimiento es descendente con cada aumento sucesivo en existencias en crecimiento. La zona III, se caracteriza porque el incremento en volumen es aproximadamente constante a diferentes densidades de rodal. En la zona IV, el crecimiento cae y es inversamente proporcional al aumento en existencias del rodal. Sin embargo, debido al aumento de la densidad de población, aumenta la velocidad de la tasa de disminución del crecimiento. En la zona V, la tasa de crecimiento disminuye rápidamente. En esta zona la resistencia de los árboles a diferentes factores causantes de mortalidad, como insectos y enfermedades es muy baja.

En forma complementaria, Shepherd (1986) expresa que en la zona III, como el incremento total del rodal no varía y la tasa de incremento anual es casi constante, la tasa de incremento individual debe decrecer a medida que aumenta la densidad.

Figura No. 2. Gráficos de Langsaeter



Fuente: adaptado de Langsaeter (1941).

Si se desea producir árboles para aserrado en el menor tiempo posible debe mantenerse la densidad dentro de la zona II, y por el contrario si se desea maximizar el crecimiento por hectárea debe mantenerse dentro de la zona III, ya que en esta última, el potencial del sitio es aprovechado en su totalidad, pero la alta competencia hace que el crecimiento individual sea inferior al de la zona II (Gallo, 1998).

2.3. INDICADORES DE DENSIDAD DE RODAL

Chauchard et al. (2013), sostienen que se puede definir en forma amplia la densidad de rodal como una medida cuantitativa de la cantidad de biomasa arbórea existente por unidad de superficie (usualmente número de árboles o área basal por unidad de superficie). Sin embargo, no es efectiva en la expresión de la ocupación del sitio si no se conoce alguna variable relacionada con el tamaño del rodal. Los índices de densidad de rodal vinculan dos variables, una relacionada con el tamaño medio del mismo y otra con la densidad absoluta, devolviendo un valor relativo del estado de densidad. Con estos índices se expresa el estado de competencia entre los árboles del rodal en un momento dado.

Según Ortiz (1989), la densidad de rodal es una medida del estado de competencia entre los árboles, la cual depende de la cantidad y distribución de la biomasa, es decir, depende tanto del número como del tamaño y distribución de los árboles en el rodal.

La densidad, es utilizada como variable de decisión en las intervenciones silvícolas así como de predicción en modelos de crecimiento (Gallo, 1998). El manejo de la densidad de rodal es el proceso de controlar la competencia por recursos a los efectos de lograr objetivos de gestión específicos. En un sentido operativo, consiste en controlar el número y ordenación espacial de tallos individuales por unidad de superficie a través del espaciamiento inicial o una secuencia temporal de raleos.

Existen diversos métodos para evaluar la densidad de rodal, entre ellos podemos citar el método de Tablas de Rendimiento Normal, Factor de Competencia de Copas, Razón de Área de Árboles, Índice de Densidad de Rodal (IDR), Índice de Hart-Becking, Espaciamiento Relativo o Factor de Espaciamiento (Fe %), Coeficiente de Espaciamiento (Ce) y Densidad Relativa (DR).

Day y Gonda (1987) indican que tanto el IDR como el Fe son métodos simples y adecuados para elaborar modelos de densidad. Ambos son particulares de cada especie e independientes del sitio. Aunque fueron desarrollados antes que la Regla $-3/2$ (propuesta por Yoda, Ogaki y Huzumi en 1963), ambas son expresiones biológicas de la misma, que muestran que existe una relación lineal entre el logaritmo del peso (o volumen) de una población vegetal en competencia, con el logaritmo de su densidad con una pendiente de $-3/2$.

En cuanto a la regla de $-3/2$, Newton (1997) indica que fue originalmente derivada en forma empírica de observaciones en poblaciones de plantas en situación de auto-raleo. Obteniéndose una relación entre la biomasa media por planta (b) y el número de plantas por unidad de área (N), mediante la constante de proporcionalidad (α_1) dada por:

$$\bar{b} = \alpha_1 N^{-\frac{3}{2}} \quad (1)$$

Esta relación se basa en dos supuestos: primero, que el auto-raleo ocurre sólo cuando la cobertura total de las plantas excede el 100%, por lo tanto opera manteniendo este 100% de cobertura; y segundo, que las plantas de la misma especie son siempre geoméricamente similares en forma, independientemente de la etapa o condiciones de crecimiento. Long y Smith (1984) señalan que la aparente universalidad de esta relación la transforma en el principio más general de la biología de poblaciones de plantas.

El Factor de Competencia de Copas es la relación entre la máxima superficie de proyección de la copa posible y la superficie del rodal. Cuanto mayor es el número de

pies y mayor es la suma de la superficie de proyección teórica de la copa, más denso será el rodal (Gadow et al., 2007).

2.3.1. Área basal

El área basal es la medida más utilizada como índice de densidad de rodal, es de fácil medida y depende de la calidad del sitio (Gallo, 1998).

Las Tablas de Rendimiento Normal han sido las más utilizadas para medir la densidad de los rodales. Según este método la densidad se expresaría como la relación entre el área basal (más frecuentemente utilizada por su facilidad de medida), el número de árboles o el volumen del rodal, con los valores de la tabla de rendimiento normal para la misma edad e índice de sitio (Daniel et al., 1982).

Gadow et al. (2007), coinciden en que el área basal es la medida de densidad más frecuente, y es expresada como:

$$Ab = \frac{\pi}{4} \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (2)$$

Donde: Ab es el área basal y d_i es el diámetro a la altura de pecho

Aunque el área basal o número de árboles por unidad de área se refieren a menudo como medida de densidad y se determinan con facilidad, no expresan el grado de competencia existente dentro de un rodal (Curtis, 2010).

Un área basal o número determinado de árboles por unidad de superficie representa condiciones muy diferentes en un rodal joven respecto a un rodal maduro o en un buen sitio en comparación con un sitio pobre. Cualquier expresión útil de área basal o número de árboles se debe combinar con alguna medida de la etapa de desarrollo de rodal, tales como diámetro medio, altura o el indicador de calidad de sitio y la edad (Curtis, 2010).

2.3.2. Índice de espaciamiento relativo

El índice de espaciamiento relativo fue desarrollado empíricamente y utilizado para control de raleo en Inglaterra y otros países de Europa desde hace más de 100 años. Para utilizarlo es necesario conocer para cada especie el valor de los Fe % a densidad mínima y máxima aceptables (Day y Gonda, 1987).

Según Gallo (1998) el índice de espaciamiento relativo (Fe %), basado en la relación entre la distancia media de los árboles y el promedio de la altura dominante del rodal, varía con la especie, pero no es afectado por el índice de sitio. La tendencia en el tiempo está dada por la relación del incremento en altura respecto a la mortalidad. En los primeros años el Fe % se encuentra afectado solo por el incremento en altura, cuando se cierra el dosel, pasa a tomar importancia la mortalidad.

Day y Gonda (1987) indican como referencia a tener en cuenta, que a porcentajes de Fe % entre 15 % (especies muy tolerantes) y 30 % (especies muy intolerantes) la pendiente de la curva Log. Número de tallos por hectárea vs. Log. de altura total es de -2,0. En cuanto a referencias de raleo para rodales destinados a madera de aserrío, recomienda ralear hasta un valor aproximadamente 3% mayor que el mínimo, o 6% si se necesita reducir el número de raleos y mantener el rodal entre los límites máximo y mínimo aceptables. En este sentido López (2008) indica como valores entre los cuales debe encontrarse el Fe %, para Pino pinaster (norte) 20 a 25 % y Pino pinaster (continental) 25 a 35 %.

Barrio y Álvarez (2009) señalan en valor de Fe % o índice de Hart-Becking correspondiente al límite inferior de densidad entre las zonas de competencia creciente (“rodal bien poblado”) y zona de mortalidad inminente (“superpoblado”) para *P. pinaster* en 22 %, y el intervalo de clara se estableció en un crecimiento en altura dominante de 3 metros.

Pita, citado por Crecente et al. (2009), aconseja como norma general efectuar raleos en una masa forestal cuando el valor del Factor de espaciamiento o índice de Hart-Becking es inferior a 18 – 20%. El valor de Fe % después del raleo debería ser 5 a 7 puntos mayor (i.e., 23 – 27%) para evitar problemas de pérdida de estabilidad mecánica del rodal. Barrio y Álvarez (2009) establecen como límite superior de espesura para *P. pinaster* un valor de Fe % de 22.

Sin embargo, Del Peso y Bravo (2004) desestiman la realización de normas de densidad a partir del Índice de Hart-Becking, dado que las masas mediterráneas de *P. pinaster* suelen presentar densidades defectivas, falseando el óptimo de Hart-Becking entre un rango de 20 - 30, más adecuado para masas eurosiberianas con cobertura completa; y, recomienda trabajar con el índice de Reineke que permite el ajuste de los óptimos a las densidades defectivas mencionadas, características de la especie.

2.3.3. Índice de densidad relativa o índice de masa de Reineke

Según Hawley y Smith (1982) se han hecho muchos intentos por elaborar programas satisfactorios para el raleo con el objetivo de encontrar algún índice de densidad de rodal que, mantenido constante a lo largo del turno, defina una serie de raleos de peso uniforme. Entre los índices propuestos se destaca el índice de densidad de masa (Reineke, citado por Hawley y Smith, 1982).

Para Daniel et al. (1982) el control de la población se obtiene por lo general a través del control del área basal. Sin embargo, puede lograrse una mejor definición de la escala deseable de población al expresar sus límites en términos del índice de densidad del rodal de Reineke (IDR). El Índice de Reineke resulta una herramienta útil cuando se desea efectuar un diagnóstico que permita evaluar y analizar las consecuencias del manejo sobre la densidad de los rodales (Cabrelli et al., 1993).

El IDR es uno de los índices más comunes y es la base para muchos diagramas de manejo de densidad. Además tiene la ventaja de utilizar variables de fácil medición a campo, como el número de árboles por hectárea y el diámetro cuadrático medio (Rebottaro, 2007).

El IDR es el número de árboles en un diámetro promedio de rodal de 25 cm. Se basa en que cualquier rodal puro, bien poblado y de edad uniforme, tiene aproximadamente el mismo número de árboles por unidad de superficie que cualquier otro rodal puro, bien poblado y de edad uniforme de la misma especie, que tenga el mismo diámetro promedio del rodal. Esto no es afectado ni por la edad ni por la calidad del sitio (Daniel et al., 1982).

Expresa la densidad como el número de árboles por hectárea, que tendría un rodal particular, para un valor de diámetro promedio de rodal de referencia igual a 25 cm (Cabrelli et al., 1993).

Según Reineke (1933) se puede expresar el número de árboles por unidad de superficie de un rodal como porcentaje del número de árboles de otro, como densidad relativa. Si para un mismo diámetro promedio se obtiene la suficiente cantidad de datos en cuanto al número de árboles por acre o por hectárea, se puede asumir que el mayor valor corresponde al 100 % de la densidad del rodal y la densidad de cada uno puede ser expresada como un porcentaje de la densidad completa.

Por otro lado, el número de árboles por unidad de superficie a densidad completa varía con el diámetro medio del rodal. Así, rodales con un diámetro medio bajo, tendrán un alto número de árboles por acre o hectárea, mientras que rodales con un diámetro medio alto, tendrán un menor número de árboles por acre o hectárea. Para estimar la densidad de rodal es necesario tener una curva que represente el número de

árboles por unidad de superficie a densidad completa para todos los diámetros medios. La curva entre el número de árboles por acre contra el diámetro medio toma una forma cóncava, pero si se grafican los logaritmos se obtiene una relación lineal dada por:

$$\boxed{\text{Log}(N) = -1,605 \times \text{Log}(DQM) + k} \quad (3)$$

N= número de árboles por acre

DQM = diámetro cuadrático del rodal, en pulgadas, (calculado a partir del individuo con área transversal promedio)

K = constante, es el logaritmo de N cuando el Dp es 1 pulgada (Rebottaro et al., 2007).

En la Figura No. 3 puede verse la curva de referencia, curva a densidad completa obtenida por Reineke en 1933, y sus curvas paralelas, para distintos índices de densidad de rodal, para obtener gráficamente el número de árboles por acre para 10 pulgadas de diámetro.

Por medio de la curva de referencia derivada para un rodal dado, se grafica el número de árboles por acre y el diámetro, luego se ubica mediante el punto una línea paralela a la curva de referencia y se toma como valor de IDR el número de árboles por acre en su intersección con la ordenada de 10 pulgadas (Reineke, 1933).

Según Rebottaro et al. (2007) hay una relación lineal inversa entre el logaritmo del diámetro promedio y el logaritmo del número de árboles por acre, de manera independiente de la edad o de la productividad del sitio. Reineke definió como línea de densidad máxima LDM a aquella que representa el máximo número de árboles por unidad de superficie que es posible encontrar para cada diámetro cuadrático medio. Observó además que la pendiente de la recta, -1.605, era similar para todas las especies.

Para calcular el IDR en el sistema métrico decimal se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$\boxed{IDR = 1,0147 \times 10^{\text{Log}(n^{\circ}a/ha) + 1,605 \times \text{Log}(\overline{DQM} \times 100) - 2,25}} \quad (4)$$

Fuente: Cabrelli et al. (1993).

Simplificando la ecuación se puede llegar a la siguiente aproximación (Daniel y Sterba, citados por Rebotaro et al., 2007):

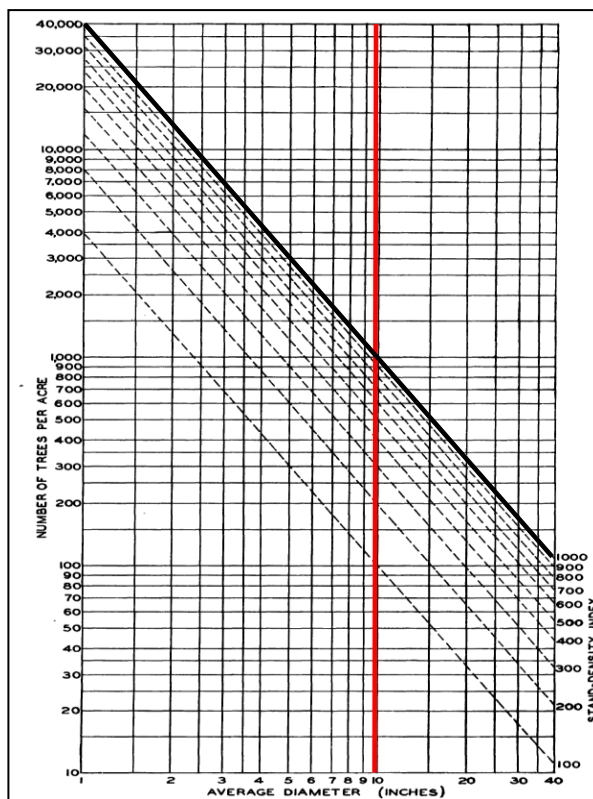
$$IDR = N \times \left(\frac{DQM}{25} \right)^{1,605} \quad (5)$$

Donde:

N = número de árboles por hectárea

DQM = diámetro cuadrático medio en cm

Figura No. 3. Curva de referencia y curvas paralelas para distintos IDR



Fuente: adaptado de Reineke (1933).

Varios autores, con base en las curvas de Langsaeter, proponen límites de densidad entre los cuales la población crecería a densidad adecuada, definiéndose tres zonas de competencia: subpoblación, población adecuada y sobrepoblación.

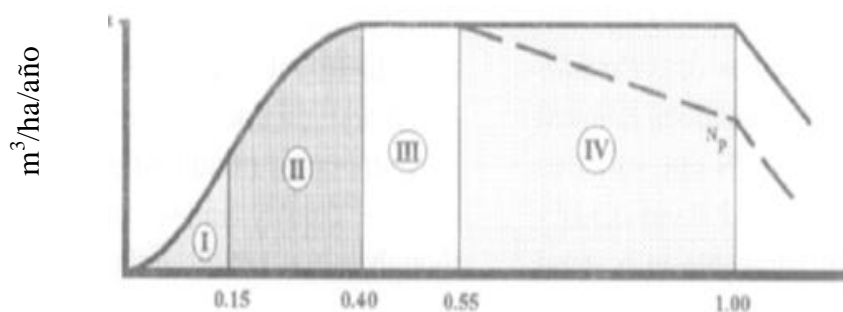
En ese sentido Rebotaro et al. (2007), en un ensayo con *Pinus caribaea* y en otro trabajo Valbuena et al. (2008) con *P. pinaster*, indican que el intervalo de densidad dentro del cual la productividad es máxima, es 35% a 60% del IDR máx. Entre estos límites el sitio estaría completamente ocupado, por debajo subpoblado y por encima sobrepoblado, en situación de auto-raleo.

Cabrelli et al. (1993), en *Pinus taeda*, adoptan como límites el 40 y 60 % del IDR máximo; por otro lado, tanto Ortiz (1989), como Newton (1997), utilizan 35 % y 55%.

Para Dean y Baldwin (1993) el límite superior de densidad para un rodal particular debe ser ubicado por debajo del umbral de la mortalidad relacionada a la densidad, a esta la ubica entre 50 % a 55, así, toma 45% como límite superior y 35 % como inferior.

Drew y Flewelling (1979) proponen valores a las distintas zonas del gráfico de Langsaeter, siendo 0,15 el límite de cierre de corona, a partir de cuándo se da la competencia. Para zona II pone como límite 0,40, previo a este nivel, el rodal incrementa su volumen sacrificando parte del rendimiento por unidad de área. Para la zona III el límite superior sería 0,55, en esta zona se sacrifica el rendimiento unitario por el rendimiento por área.

Figura No. 4. Curva de Langsaeter (1941), adaptada para IDR



Proporción del IDR máx.

Fuente: extraído de Newton (1997).

En el Cuadro No. 4 se resumen antecedentes de cálculo de IDR, y los coeficientes de ajuste de la recta de regresión para el logaritmo del número de árboles por hectárea vs. el logaritmo del diámetro cuadrático medio:

Cuadro No. 1. Antecedentes de IDR y sus parámetros para otras especies de pino

Fuente:	Especie	IDR máx.	LDM	LDm	Intercepto	Pendiente	R ²
Cabrelli et al.(1993).	<i>P. taeda</i>	1125	750	450	5,07	-1,573	0,84
Rebottaro et al.(2007).	<i>P. caribea</i> var. <i>caribaea</i>	1333	800	467	5,198	-1,522	0,98
	<i>P. caribea</i> var. <i>hondurensis</i>	1850	1110	648	5,722	-1,801	0,96

Como puede verse en el cuadro existe una alta correlación entre el logaritmo del número de árboles por hectárea y el logaritmo de diámetro para las distintas especies citadas. Además se ve una diferencia entre la pendiente de las dos variedades de *Pinus caribea* en torno a la propuesta por Reineke.

Por otro lado, Sales y Fonseca (2004), trabajando con los datos del Inventario Nacional de Portugal de 1998, encontraron para la función Log (número de árboles/ha) vs. Log (DAP medio), para *P. pinaster* una pendiente de -1,897 y un intercepto de 13,052, con un R²=0,897.

Del Río et al. (2006), a partir de 10 parcelas de pino negral a máxima densidad y utilizando la pendiente propuesta por Reineke (-1,605), obtuvieron una línea de densidad máxima para un IDR=1629. En estas parcelas el área basal máxima registrada fue de 89.9 m²/ha, además, el número de árboles por hectárea variaba desde 1300 a 10700 y los diámetros desde 7,2 cm a 27,2 cm. Siendo la recta ajustada:

$$\ln(N) = 12,562 - 1,605 \times \ln(DQM)$$

Según Long y Smith (1984) el nivel de la curva de densidad máxima y por lo tanto la constante de proporcionalidad, varían con la especie, y en general es mayor en las especies más tolerantes.

Daniel et al. (1982) indican que poseer la curva máxima de una especie es útil principalmente para hacer comparaciones entre las densidades de rodales de la misma especie.

Shaw y Long (2010), en una visión crítica de las metodologías utilizadas para la determinación del máximo IDR, consideran fundamental para lograr una definición y aplicación consistentes, tener en cuenta cuatro temas importantes: métodos de muestreo y error, escala, asunción de una pendiente universal y lineal, y falta de definiciones consistentes. En cuanto al error de muestreo, hay que mencionar que muchas veces se utilizan los mayores valores de IDR, que pueden ser mucho mayores que lo esperable, pudiendo ser valores atípicos o puntos de muestreo en los cuales se registró la competencia interna pero no las zonas de baja densidad que afectaban el estado competitivo del área de medida, siendo consideradas, entonces, error de muestreo. En cuanto a la escala hay que diferenciar dos niveles, la escala de parcela y la escala de rodal; constituyendo un error, utilizar la información generada en una, en la otra.

Harper, citado por Day y Gonda (1987), observó que, al graficar el log del volumen de árboles de área basal media vs. el log del número de árboles por hectárea, luego de raleo, las pendientes oscilaban entre -1,74 y -1,82, más altos de los que hubiera obtenido previo al raleo.

2.3.4. Densidad relativa

Curtis (1982) desarrolló para Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) una expresión simple de densidad relativa de rodal. Dada por la relación entre el área basal y la raíz cuadrada del diámetro cuadrático medio.

$$DR = \frac{AB}{\sqrt{DQM}} \quad (6)$$

Donde la unidad de AB es m²/ha y la de DQM es cm.

La Densidad Relativa (DR) y el IDR son medidas de la densidad de rodal basadas en el diámetro y tienen una interpretación común como expresiones del área disponible para el árbol promedio. En rodales cerrados estas medidas son expresiones

del desarrollo de copas promedio y nivel de competencia relativa con la condición estándar y son aproximadamente equivalentes, difiriendo principalmente en detalles algebraicos y métodos de estimación de constantes (Curtis, 1982). Ambas fueron desarrolladas para rodales coetáneos de *Pseudotsuga menziesii* y son independientes del sitio y la edad (Curtis, 2010).

Según Curtis (2010), al igual que el IDR, la densidad relativa es independiente del sitio y la edad.

Cuadro No. 2. Antecedentes de línea de densidad máxima para DR

	Línea de densidad máxima correspondiente a una DR=	Fuente
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	14	Curtis (1982)
<i>Pinus radiata</i>	16	Reid (2006)
<i>Eucalyptus</i> que crecen en Australia en zonas de altas precipitaciones (>900 mm)	12	Reid (2006)

En el Cuadro No. 2 se presentan valores de referencia para *Pinus radiata* y *Eucalyptus* en Australia y *Pseudotsuga menziesii* en USA. Reid (2006) interpreta la diferencia entre los valores para distintas especies como reflejo de la diferencia relativa en sus tolerancias a la competencia.

2.4. DIAGRAMAS DE MANEJO DE DENSIDAD DE RODAL

Una forma de aplicación gráfica de los índices de densidad de rodal en el control de la densidad de la población es a través del uso de Diagramas de Manejo de Densidad del Rodal (SDMD). Según Newton (1997) el manejo de la densidad del rodal implica, conceptualmente, el proceso de controlar la competencia de los recursos a través de la regulación de la densidad con el fin de alcanzar objetivos de manejo específicos. Operativamente, la regulación de la densidad consiste en controlar el número y arreglo espacial de los tallos individuales por unidad de área a través de la densidad de plantación o la secuencia de raleos.

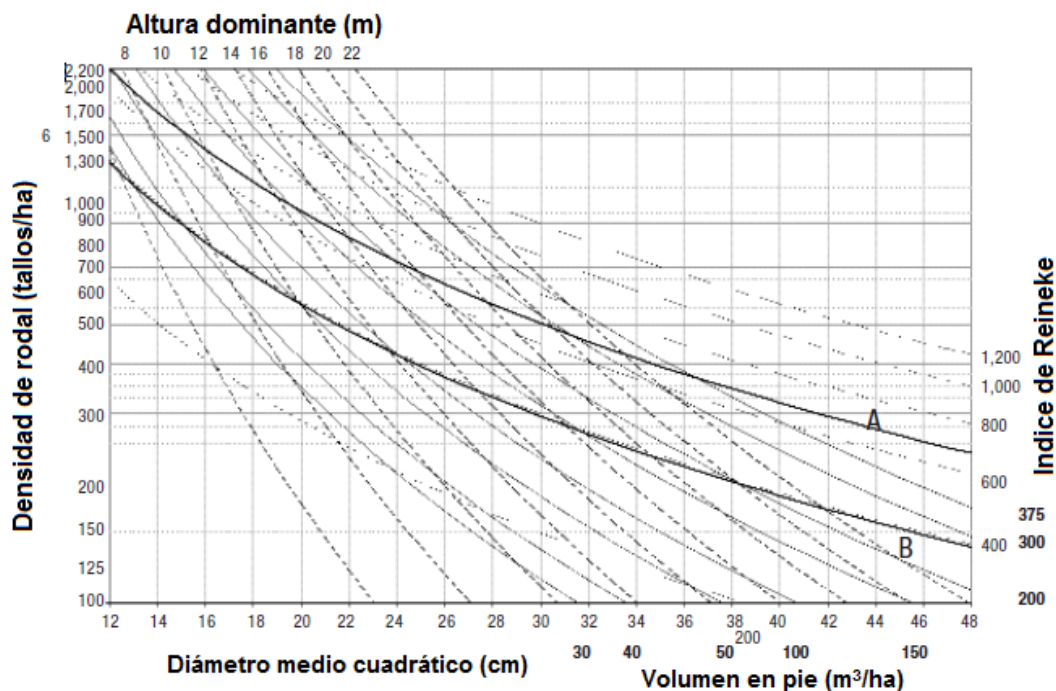
Los diagramas de manejo de densidad son modelos gráficos simples para poblaciones dinámicas coetáneas (Long, 2012). Según Archibald y Bowling (1995) los diagramas de manejo de densidad son herramientas prácticas basadas en la teoría de auto-raleo, y permiten visualizar como cambia a lo largo del tiempo el diámetro

promedio, la altura, la densidad y el volumen para poblaciones de especies coetáneas y puras.

Las primeras relaciones usadas en el desarrollo de los SDMD, fueron obtenidas de una serie de experimentos dentro de poblaciones de plantas monoespecíficas y coetáneas con el objetivo de analizar las relaciones entre biomasa y densidad en varias etapas del desarrollo. Estas relaciones son: las ecuaciones recíprocas competencia – densidad y rendimiento – densidad, que fueron inicialmente derivadas para poblaciones que no se encontraban en situación de auto-raleo y por lo tanto son aplicables a poblaciones de plantas donde no existe mortalidad debida a la densidad; y, la ley de $-3/2$ derivada empíricamente de poblaciones en situación de auto-raleo (Newton, 1997).

Como antecedente para la especie se puede citar a Valbuena et al. (2008), que elaboraron un SDMD para *P. pinaster* mediterráneo, graficando en escala doble logarítmica el número de árboles por hectárea vs. el diámetro cuadrático medio. Luego superpusieron isóneas de altura dominante, IDR y volumen total (ver Figura No. 5).

Figura No. 5. Diagrama de densidad para *Pinus pinaster*



Fuente: adaptado de Valbuena et al. (2008).

2.5. EL RALEO Y FACTORES AMBIENTALES ADVERSOS: INCIDENCIA DE FUEGO Y VIENTO

En el Código Nacional de Buenas Prácticas Forestales se recomienda, como parte de las prácticas de silvicultura preventiva, realizar una red de caminos, fajas cortafuego y franjas adyacentes de seguridad, a fin de dificultar la propagación del fuego y facilitar el acceso a los distintos sectores forestados, en caso de incendio.

En ese sentido, según Valbuena et al. (2008), el fuego es considerado uno de los problemas básicos de las forestaciones mediterráneas. Una adecuada silvicultura es una de las principales herramientas para prevenir incendios; manteniendo la población a un correcto nivel de densidad, se puede reducir el impacto y frecuencia de los incendios. La mortalidad relacionada a la densidad, puede proveer biomasa en caso de fuegos forestales y así incrementar su intensidad.

En cuanto a la reglamentación existente en la prevención de incendios, se puede resaltar que según el artículo 5° del Decreto 436 de Presidencia de la República, del 19 de noviembre de 2007, *“los responsables a cualquier título de áreas arboladas deberán mantener limpios y vigilados sus predios, en lo que se refiere a la prevención de incendios. Las calles cortafuegos perimetrales e internas deberán mantenerse libres de vegetación, de modo de evitar la propagación de fuegos. Los restos de podas y hojarascas se depositarán en lugares apropiados, evitando su dispersión. No se acumularán en predios baldíos.”*

Dada la ubicación de la plantación, es necesario considerar el efecto del viento ante una posible liberación de la masa. En este sentido, según Shepherd (1986), se ha observado que la susceptibilidad al viento aumenta luego de un raleo, especialmente si éste se ha retrasado, es muy pesado y se retiran individuos dominantes; además, luego del raleo, las plantaciones serán más susceptibles cuanto más altos y delgados sean sus individuos, dado que en estas condiciones el efecto de la competencia habrá afectado en gran medida el crecimiento en diámetro y poco la altura, generando altas relaciones altura/diámetro.

Castedo et al. (2009) establece que uno de los indicadores más sencillos de la estabilidad mecánica de una masa forestal es el Coeficiente de Esbeltez (C esb. %), definido como el cociente entre la altura media y el diámetro medio cuando ambas variables se miden en las mismas unidades. Puesto que este coeficiente es función del espaciamiento entre pies, es posible el control de la estabilidad de la masa mediante el control de la densidad de rodal. Además, el C esb. % se encuentra muy correlacionado con el combado o rotura de fustes. Por otro lado citando a varios autores, en observaciones en Francia y Portugal, establece como umbral de estabilidad para *P. pinaster* un C esb. % igual a 75, por encima del cual las poblaciones estarían en una condición inestable.

Según Cremer et al., citados por Shepherd (1986), comentan que no es apropiado basar los cálculos en todos los individuos del rodal, ya que los dominantes son los más significativos en la determinación de la estabilidad, y es por ello que establecen como índice de susceptibilidad del rodal al viento, el cociente de la altura de los 200 árboles dominantes de la hectárea sobre el diámetro de los 200 árboles mayores. Determinando un valor de 0,8 como límite sobre la cual la masa se encuentra en una situación inestable.

Por otro lado, Cucchi y Bert (2003), luego de estudiar poblaciones de *P. pinaster*, ubicadas en el frente atlántico de Francia en la en la región de Aquitania, afectadas por una tormenta en 1999, encontraron que, para las poblaciones estudiadas, otros factores fueron más importantes que la relación H/D, que en esta especie es usualmente inferior a 80, lo recomendado habitualmente para obtener resistencia al efecto del viento. En este sentido, observaron que la estabilidad de la masa parece estar basada en los individuos dominantes y no en la media de los árboles. Se evidenció un severo aumento de la vulnerabilidad de la masa al eliminar los individuos dominantes.

Becquey y Riou-Nivert (1987) plantearon la existencia de tres zonas de estabilidad de la masa al efecto de los vientos, al comparar la relación H/D con la altura dominante. Una zona “estable”, donde la buena resistencia al viento viene dada por una alta resistencia individual. Compuesto por árboles pequeños, de baja altura, en poblaciones jóvenes. La segunda zona es la “poco estable” en la que los árboles poseen características que no les permiten resistir individualmente, resisten en base a un efecto en bloque dado por el total de la masa. Y pueden verse afectados por los vientos luego de un raleo fuerte, dada la ruptura del equilibrio en que se encuentran. Y por último está la zona “inestable”, en la cual aunque la masa esté cerrada, presenta características que hasta sin intervención, el efecto de bloqueo no es suficiente ante los vientos fuertes.

En relación al fuego, según Valbuena et al. (2008), es considerado uno de los problemas básicos de las forestaciones mediterráneas. Una adecuada silvicultura es una de las principales herramientas para prevenir incendios; manteniendo la población a un correcto nivel de densidad, se puede reducir el impacto y frecuencia de los incendios. La mortalidad relacionada a la densidad, puede proveer biomasa en caso de fuegos forestales y así incrementar su intensidad.

Los antecedentes expuestos en la revisión bibliográfica permiten abordar el diagnóstico de estado de las poblaciones de *P. pinaster* de la Reserva Forestal de Cabo Polonio, así como determinar su utilidad en el aporte de valores de referencia de densidad para la especie. En este sentido, la densidad actual de estas poblaciones aparenta estar en situación de auto-raleo, o sea zona IV de Langsaeter, lo que alienta en su utilidad a los efectos de calcular los límites de densidad para la masa.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

La reserva forestal se encuentra ubicada en el km 261 de la Ruta Nacional No. 10 “Juan Díaz de Solís”, aproximadamente a 30 km de la ciudad de Castillos y a 64 km de la ciudad de La Paloma.

El predio donde se encuentra la plantación de *Pinus pinaster* de interés, se enmarca entre las coordenadas geográficas 34° 22' 59" y 34° 25' 15" de latitud Sur y entre 53° 52' 26" y 53° 49' 12" de longitud Oeste, ocupando una superficie aproximada de 1100 ha. De éstas, aproximadamente unas 270¹ corresponden a plantaciones de *P. pinaster*, unas 74 ha a monte nativo y el resto se reparte entre rodales de otras especies, caminos, cortafuegos y dunas.

Figura No. 6 Imagen satelital de la zona del predio



Fuente: Google (2009).

¹ Caldevilla, G. 2012. Com. personal

Los padrones catastrales involucrados en este predio son los No.: 1144, 1577, 1578, 1587, 1588, 1589, 1592, 1593, 3802, 4509, 4950, 5589, 6351, 6445, 6540, 7638, 7695, 14031, 24402, 35408, 42248 y 59033.

La reserva forestal comprende una superficie de unas 3600 ha y fue plantada con el fin de contener las dunas, entre fines de la década de 1960 y principios de los años '80 con *P. pinaster*. Luego de la etapa de cuidados iniciales no recibió tratamiento silvícola.

Hoy día, además de su función en la contención de las dunas, actúa como una cortina forestal, protegiendo de los vientos oceánicos, en todo el frente marino, al resto de las poblaciones forestales existentes en el predio. Un diagnóstico reciente realizado a la masa forestal permite inferir que tiene problemas sanitarios y alta heterogeneidad en los diámetros, producto de la elevada densidad y de la competencia. De este surge la necesidad de intervenir estas poblaciones, con el objetivo de regular el crecimiento, mejorar su sanidad y disminuir los riesgos de incendio que presenta en la actualidad, dada la alta mortalidad y acumulación de desechos provenientes de los árboles en pie; aportando así, valiosa información a los efectos de su uso en el plan de protección contra incendios implementado en la reserva.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL SITIO

Se realizó una compilación y síntesis de la información relevante del sitio donde se ubican los rodales en estudio, que incluye geología, suelos y variables atmosféricas.

3.2.1. Geología

Según De León et al. (2006) las unidades geológicas que se encuentran en el área del Cabo Polonio son:

- Zócalo del este, con afloramientos de rocas en la costa, compuestas por cuarcitas, gneisses y filitas.
- Arenas, arcillas y lodolitas de la Formación Chuy, que se extiende a lo largo de toda la faja que comprende el área de Cabo Polonio.
- Arcillas grises, paleosuelos y turbas, se han determinado paleosuelos fosilizados por la cobertura de dunas o cordones litorales, principalmente planosoles con gran diferenciación de horizontes.
- Médanos, correspondientes a depósitos eólicos litorales; algunos de ellos están edafizados.

- Aluviones, acompañan a los cursos de agua y están siempre formados por materiales finos, arcilla limo y arena fina.

3.2.2. Suelos

En el predio se encuentran los grupos de suelos CO.N.E.A.T. 07.1, 07.2 y 09.1, que integran la Unidad Angostura en la carta a escala 1:1000.000 (D.S.F.) y en menor superficie, el grupo 3.30, perteneciente a la Unidad Laguna Merín de la misma carta (ver Anexo No. I).

La Unidad Angostura está compuesta por los suelos Arenosoles ócricos, planosoles dístricos ócricos como principales, asociados a Argisoles dístricos/subeútricos ócricos abrupáticos.

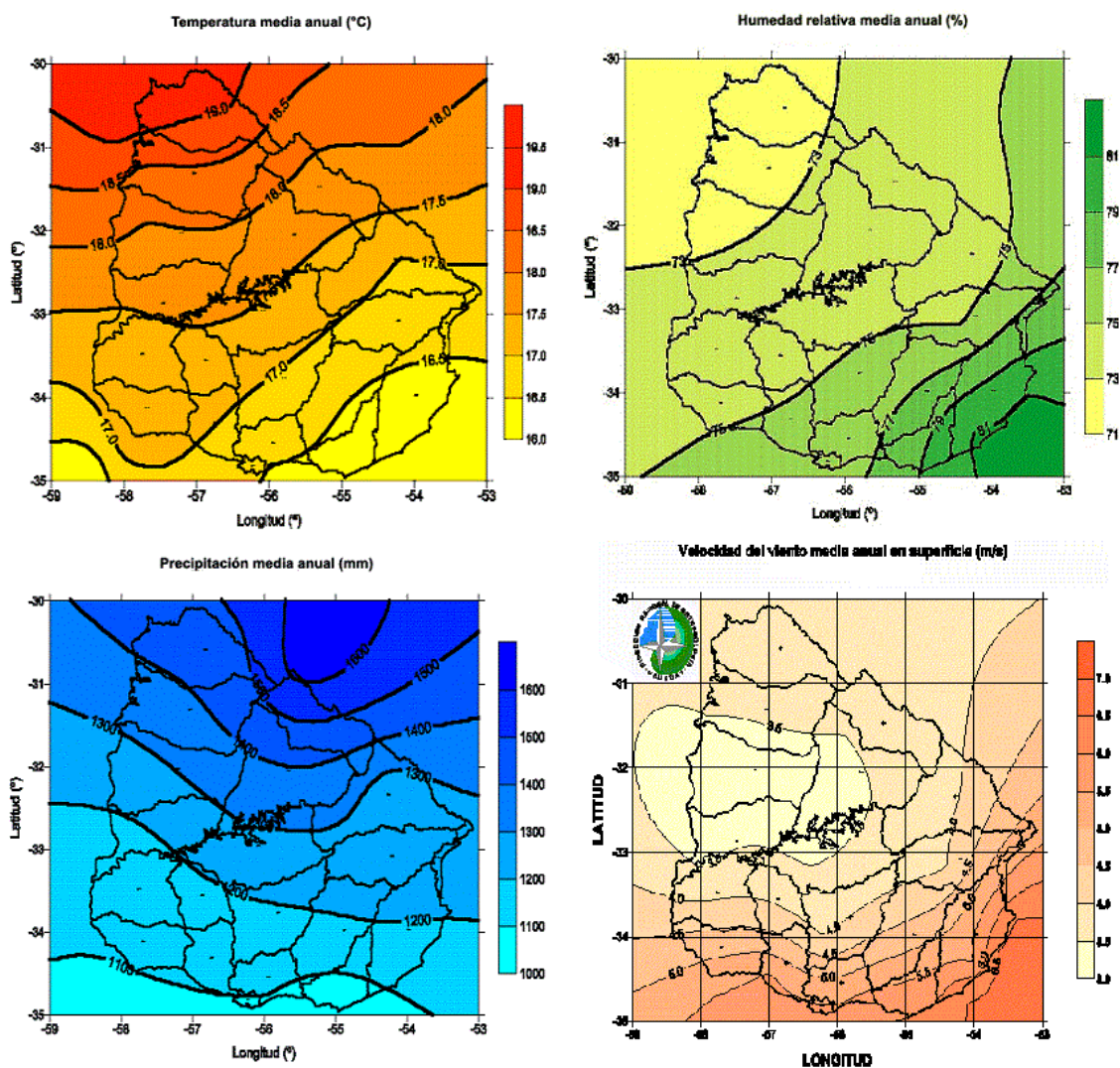
En cuanto a los montes de *Pinus pinaster*, es de destacar que están ubicados sobre los suelos del grupo 07.1 y 07.2, compuestos por Arenosoles y dunas (Anexo No. I).

Los Arenosoles comprenden todas las arenas con edafización escasa o nula, estabilizadas por la vegetación natural o artificial (Durán, 1991). Su textura es arenoso franca o arenosa en todos los horizontes. Presentan baja retención de agua, alta infiltración y conductividad hidráulica, muy baja capacidad de intercambio catiónico y estructura débil o inexistente. Su uso pastoril es muy limitado, dado el pobre tapiz herbáceo presente. Es frecuente la plantación de pinos y acacias en las zonas de dunas. Son aptos únicamente para el uso forestal con plantación de pinos.

3.2.3. Características del clima de la zona

Según De León et al. (2006) la zona posee un clima marítimo templado húmedo a subhúmedo sin temperaturas extremas. En cuanto a los registros históricos climáticos disponibles en la Dirección Nacional de Meteorología correspondientes al período 1961 – 1990, podemos citar que la temperatura media anual es de 16 °C, habiéndose registrado picos históricos máximos de 39,5 °C en diciembre, y mínimos de -5,8 °C en junio. En promedio el mes más cálido es enero con 27,9 °C y el más frío es julio con 6,4 °C. La humedad relativa promedio anual es de 81%, siendo el mes más seco enero con 75% y las precipitaciones acumuladas anuales en promedio son de 1122 mm (ver Anexo No. I).

Figura No. 7 Mapas climáticos del país para el período 1961 – 1990



Fuente: URUGUAY. MDN. DNM (s.f.).

En comparación con el resto del país, la zona presenta registros extremos para varias mediciones. Se registran los menores valores de temperatura media anual, los máximos de humedad relativa media y velocidad del viento y, por otro lado si bien no presenta las menores precipitaciones del país, se encuentra en la zona previa (ver Anexo No. I).

3.2.4. Recurso forestal y vegetación existente

En el predio bajo estudio se puede diferenciar la vegetación en: montes implantados con especies exóticas como *Pinus* sp., *Eucalyptus* sp. y *Acacia longifolia*; monte nativo; y, áreas empastadas utilizadas para pastoreo. Además cabe destacar que el monte bajo estudio, se encuentra ubicado sobre el sistema de dunas.

De León et al. (2006) indica que la región de influencia del área protegida de Cabo Polonio está compuesta de ecosistemas principalmente herbáceos y arbustivos. Además describe las diversas especies vegetales y animales registradas para los distintos sistemas que componen el área.

En términos generales el sistema de dunas presenta vegetación psamófila pionera en las dunas móviles, y plantas herbáceas y sub-arbustivas en las dunas fijas y semifijas. El sistema de pradera se caracteriza por presentar una matriz de praderas de ciclo estival; donde estuvieron bajo producción, domina la gramilla (*Cynodon dactylon*) y los bosques de especies exóticas.

El monte nativo dominante es un área relictual de bosque psamófilo, constituido por especies sub-xerófilas como coronilla, arrayán, blanquillo, tala trepador, canelón y chalchal; y, por especies xerófilas como el coronilla, tala, molle y espina amarilla. Presenta una estructura vertical en capas, siendo la capa superior la de los grandes árboles, la intermedia por los portes arbustivos y la inferior de plantas herbáceas (ver Anexo No. I).

3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS RODALES BAJO ESTUDIO

Se trata de varios rodales de *Pinus pinaster* plantados en distintos años, los cuales, como ya se mencionó, ocupan aproximadamente unas 270 ha. Se observa una densidad de rodal variable en toda su superficie, así como una marcada presencia de árboles defectuosos, muertos y regeneración espontánea.

Cabe destacar que al momento de comenzar con los estudios del bosque no se contaba con información exacta acerca de la superficie de los distintos montes, por lo que hubo que realizar un mapeo de las masas boscosas previo al inventario.

3.3.1. Métodos de plantación

El monte bajo estudio fue implantado mediante jornadas de campamento en las cuales participaban jóvenes.

El procedimiento utilizado era el siguiente, se organizaban grupos de personas caminando una al lado de la otra y se iban plantando los árboles siguiendo un sistema de medición de distancias mediante conteo de pasos. Debido a la forma de plantación no existe un marco de plantación definido².

Para garantizar cierta densidad de población, se tuvo que realizar reposiciones, ya que el sitio presentaba dificultades asociadas a los vientos cargados de sales provenientes del mar y al movimiento de las propias dunas.

3.3.2. Tratamiento silvícola e infraestructura de las plantaciones

Según información de los funcionarios de la Reserva y lo visto en el lugar, no se realizaron tratamientos silvícolas después de la plantación, es decir que no se han aplicado cortas de limpieza, de liberación, raleos, podas, cortas de mejora ni cortas sanitarias o de recuperación.

Si bien la plantación presenta algunas fajas cortafuegos, éstas no son suficientes en cuanto a la cantidad, sus dimensiones en el ancho efectivo, y distribución como para cubrir los requerimientos de seguridad mínimos en caso de incendios, según lo estipulado en el artículo 10 del decreto No. 849/88 de la ley No. 15.939 de 28 de diciembre de 1987.

Los caminos de acceso vehiculares están limitados principalmente al monte nativo; no existen vías de acceso a las distintas partes de las plantaciones de pino marítimo.

Sí se encontraron en el bosque caminos o trillos marcados por el paso a caballo de los funcionarios de una sola senda, no siendo posible transitarlos en vehículos.

Debido a la alta densidad de población del bosque, los árboles debilitados por competencia se vuelven más susceptibles al ataque de agentes bióticos perjudiciales y además, la gran acumulación de materiales muertos aumenta el riesgo de incendios.

El resultado es una masa forestal con muchas dificultades en cuanto al acceso, y con una gran acumulación de materiales muertos, debido a su método de plantación y posterior falta de manejo, lo que la deja en desventaja comparativa con otras masas forestales bien tratadas.

3.4. INVENTARIO PRELIMINAR

Se realizó un inventario con el fin de cuantificar los volúmenes de madera existentes así como conocer y poder evaluar el estado general de los distintos montes.

Se dividió en tres etapas, viz.: *a)* reconocimiento, en la que se identificaron, diferenciaron y mapearon los rodales involucrados; *b)* inventario preliminar, al cabo del cual se decidió el tipo de muestreo a realizar y el número de parcelas requeridas y *c)* el inventario propiamente dicho, en el que se estimó volumen de existencias en pie de los distintos rodales y se relevaron datos sanitarios y de conformación de los árboles.

3.5. INSTRUMENTAL UTILIZADO

Para la demarcación de perímetros, áreas y puntos notables se utilizó un GPS Garmin modelo eTrex Legend, utilizando el Datum estándar WGS 84.

En la ubicación de parcelas y desplazamiento dentro del monte se utilizó una brújula magnética, fotos aéreas, foto satelital obtenida de Google Earth y planos realizados en la etapa de gabinete.

Para la demarcación de parcelas en el terreno se utilizó una cinta métrica de 8 m para medir distancias, y una cuerda con marcas distanciadas a 3, 4 y 5 m con estacas para obtener ángulos rectos.

Dada la forma variable de los troncos de los árboles se decidió medir circunferencia a la altura de pecho (CAP). Con este fin se utilizó cinta métrica milimetrada. Para la medir la altura total de los árboles, el instrumento utilizado fue el Clinómetro de Suunto.

También se utilizó una cuerda con marcas distanciadas de 10, 15 y 20 m para agilizar la determinación de la distancia al árbol para medir la altura.

Para contabilizar los árboles en cada parcela en el giro se utilizó una Barra de Bitterlich, con el juego de mirillas necesarias para cada Factor de Área Basal (FAB) predeterminado.

La cinta métrica, la barra de Bitterlich y sus mirillas eran verificadas frecuentemente, a los efectos de corroborar su constancia.

Para la medición del grosor de la corteza de los extremos de las trozas de los árboles apeados para el cálculo del factor de forma, se utilizó una escuadra de metal milimetrada.

En la toma de datos se utilizaron planillas previamente elaboradas en la etapa de gabinete (ver Anexo No. II).

Para la elaboración del mapa de cada rodal y el diseño de los muestreos se utilizaron los programas Arcmap 9.2, Geocalc, Autocad 2006 y GoogleEarth.

Para el procesamiento de los datos se utilizó el programa Microsoft Excel 2007 (planilla electrónica de cálculo).

3.6. RECONOCIMIENTO Y MAPEO DEL SITIO

La medición del área de inventario se realizó mediante mapeo de la zona, puesto que los rodales de distintas edades y densidades de población debieron ser tratados como unidades separadas. Por otra parte, había diferencias en la información cartográfica y fotográfica disponible en cuanto a la exactitud de los límites de los rodales y sus cortafuegos.

3.6.1. Etapa de gabinete – preparación de la etapa de campo

A los efectos del mapeo, se recabó información de tipo cartográfico, fotográfico y descriptivo del área, fechas y métodos de plantación. Se elaboraron planillas en papel, para la toma de datos, y electrónicas, para el procesamiento de los mismos.

3.6.2. Etapa de campo

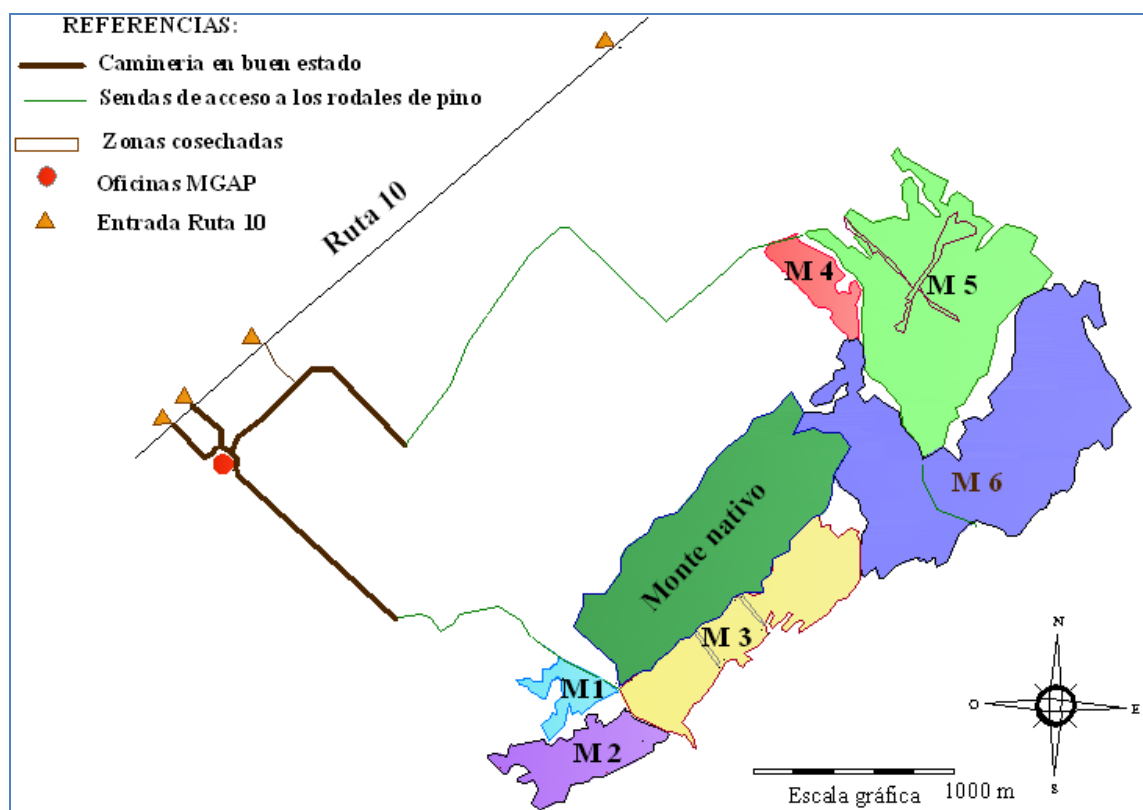
Se identificaron in situ los distintos rodales a diferenciar y utilizando el dispositivo GPS, se realizó la delimitación de los mismos.

Luego con el fin de efectuar la geo-referenciación de los rodales, se registraron las coordenadas geográficas de los puntos notables (fácilmente identificables en la cartografía y material fotográfico disponible) utilizando la función “waypoints” del dispositivo GPS.

3.6.3. Segunda etapa de gabinete – procesamiento de datos

En esta instancia se utilizaron los datos obtenidos del dispositivo GPS de las primeras visitas de reconocimiento al área de estudio, para confeccionar un plano o croquis, delimitando los distintos rodales identificados, ubicando fajas cortafuegos, caminos y puntos notables. A los efectos se utilizó el software (Autocad 2006 y Arcview 9.2) para georeferenciar las imágenes satelitales obtenidas de GoogleEarth y así ajustar y representar la información obtenida del dispositivo GPS (ver Anexo No. II). De esta forma se calcularon las áreas correspondientes a cada rodal, y se representaron en planos, necesarios para ubicar las parcelas de inventario.

Figura No. 8 Croquis del predio



Cuadro No. 3. Año de plantación y superficies calculadas por monte

Monte	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Año de plantación	1980	1966	1977	1977	1980	1983
Edad	26	40	29	29	26	23
Superficie [ha]	6,6	18,7	40,7	10,3	76,3	106,5

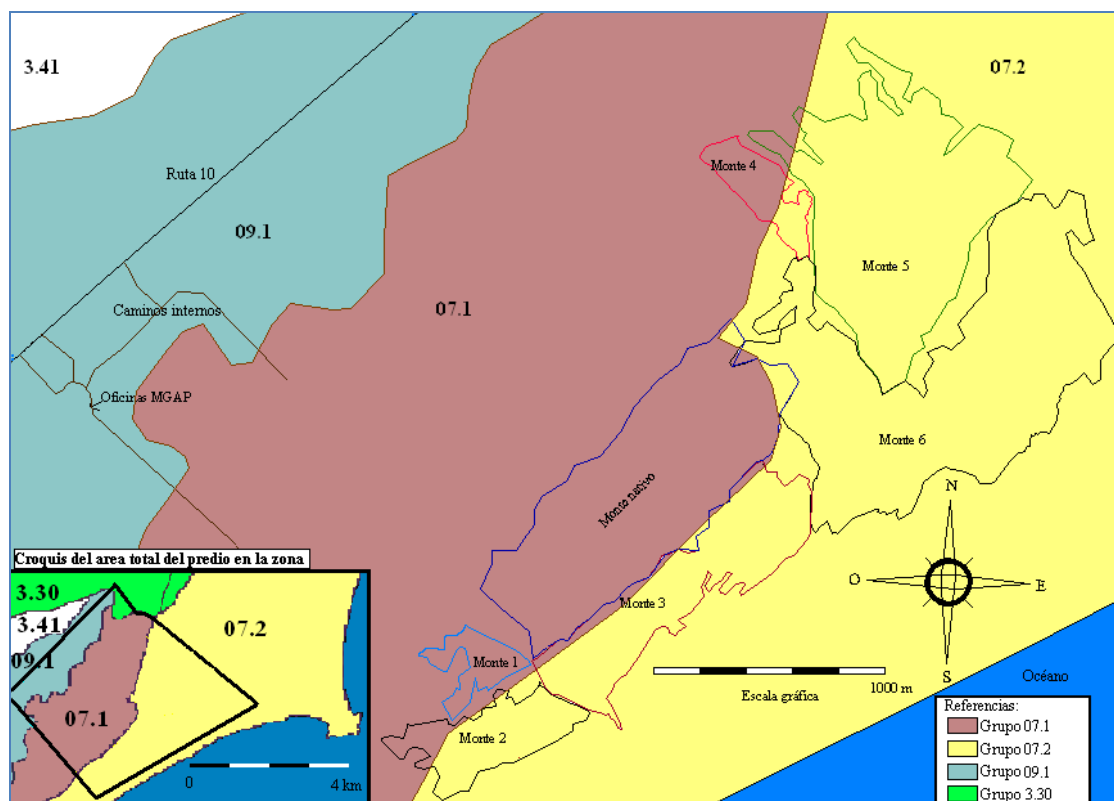
La superficie efectiva del bosque bajo estudio es de 258 ha.

Esta superficie coincide con las fuentes de información recabadas, que indicaban aproximadamente unas 270 ha totales, incluyendo caminos, cortafuegos y bajos aislados.

En la Figura No. 9 se superpuso el croquis de las unidades silvícolas con un croquis de suelos CO.N.E.A.T., a los efectos de caracterizar mejor las condiciones de sitio.

En este sentido, se observó que el monte de pino se encontraba sobre dos grupos de suelos CO.N.E.A.T., 07.1 y 07.2 (ver Figura No. 3). Así, de la interpretación de las Figuras No. 3 y 4, puede observarse que los montes 1, 4 y parte del 2 se encuentran sobre el grupo 07.1 y el resto sobre el grupo 07.2.

Figura No. 9. Mapa de suelos y unidades de vegetación



Fuente: elaborado en base a información obtenida de URUGUAY.MGAP.PRENADER (2006).

3.6.4. Sistema de clasificación de árboles según defectos

Durante la etapa de campo, se pudo observar una importante incidencia de defectos de conformación en los fustes.

Dicha situación dificulta la selección en el monte de cuales individuos tienen prioridad para ser raleados, de manera de dejar una masa remanente lo mejor conformada posible, por lo que se hace necesario un sistema de clasificación que facilite la toma de decisiones.

Para poder cumplir dicho objetivo se creó un sistema de clasificación de los árboles, de acuerdo a los distintos defectos encontrados para poder describir rápidamente su forma y asignarlos a categorías en la misma planilla de registro dendrométrico.

El sistema de clasificación propuesto incluye observaciones sobre clase de copa y defectos en la forma. A los efectos de tener en cuenta la incidencia de los defectos en función de la altura de aparición (a menor altura, mayor el valor de la troza afectada) y del número de veces que aparece, se tomó como referencia un largo de troza de 3,30 m y una altura de tocón de 0,20 m.

Además tanto T (fuste torcido) como B (bifurcación) están descriptas también a la altura que se presenta en el árbol, como nomenclatura para la recolección de datos en las planillas de campo, se utilizó la presentada en el Cuadro No. 7.

Cuadro No. 4. Sistema de clasificación propuesto

Abreviatura	Cualidad indeseable o defecto de forma	Definición:
Lb:	Árbol lobo.	Árbol dominante que debido a la falta de competencia lateral por parte de individuos codominantes, se convierten en árboles de fuste grueso con abundantes ramas y copa extensa; madera de calidad inferior.
Sup:	Suprimido o Dominado.	Árbol totalmente dominado por otros individuos del rodal. Sus copas casi no reciben luz directa, sólo la radiación filtrada a través del dosel superior. Escaso vigor y muy baja tasa de crecimiento
TB:	Torcedura Basal.	Desviación del fuste entre alturas de hasta 1 m.
B:	Horqueta o Bifurcación.	División del fuste o del brote apical en dos tallos.
TR:	Fuste tortuoso.	Árbol con curvatura del fuste en al menos dos tramos entre verticilos.
CM:	Fuste combado	Árbol con fuste curvo en forma de arco.
SN:	Fuste sinuoso.	Árbol con fuste torcido en los cuatro sentidos.
T:	Fuste torcido.	Árbol con fuste desviado a una altura determinada en uno o más planos.

Cuadro No. 5. Nomenclatura utilizada para la recolección de datos en las planillas de campo

B -	Bifurcación a menos de 3.5 m de altura.
B +	Bifurcación entre 3.5 m y 7 m de altura.
B ++	Bifurcación a más de 7.0 m de altura.
T -	Torcedura a menos de 3.5 m de altura.
T +	Torcedura entre 3.5 m y 7 m de altura.
T ++	Torcedura a más de 7.0 m de altura.

Luego se ordenaron los defectos en orden decreciente de preferencia a los efectos de una eventual extracción, tomando en cuenta la posible utilización para madera de aserrío de la masa remanente (Cuadro No. 9).

Cuadro No. 6. Criterio de selección de árboles a ralear según defectos, en orden de preferencia decreciente.

Árbol lobo
Bifurcado a menos de 3.5 m
Varios defectos combinados
Torcido de 1 a 3.5 m
Tortuoso
Sinuoso
Combado
Bifurcado entre 3.5 y 7 m
Torcido entre 3.5 y 7 m
Torcedura basal (hasta 1 m)
Bifurcado a más de 7 m
Torcido a más de 7 m

Esta información fue incluida en las planillas de levantamiento de datos de manera de agilizar su recolección (Anexo No. II).

3.7. INVENTARIO

Luego de realizar el mapeo de la zona, así como el ajuste de las planillas de levantamiento de datos, se procedió a realizar el inventario del bosque.

3.7.1. Muestreo preliminar

El muestreo preliminar se realizó con el fin de definir el tamaño mínimo de la muestra para el muestreo definitivo, (el número mínimo de parcelas a estudiar) para que el error de muestreo pre-establecido no sea mayor que el intervalo de confianza de la media.

En esta etapa se utilizó el Muestreo Aleatorio Simple con la utilización de un mínimo de 3 parcelas por monte para así obtener estimadores de media y coeficiente de variación de volumen. De este modo luego de fijar el error máximo admisible en 10%, se pudo calcular el mínimo tamaño de muestra (Sorrentino, 1996).

$$n = \frac{t^2 \times CV^2}{Er^2} \quad (7)$$

La forma de las parcelas utilizadas fue la cuadrada, de 20 m de lado, las cuales fueron marcadas mediante el método 3, 4, 5 utilizando cuerdas y cinta métrica. Debido a la dificultad encontrada en el terreno para marcar dichas parcelas, se utilizaron solo en los montes 1 2 y 3; en los restantes montes se completó el muestreo preliminar utilizando parcelas circulares de radio variable, Bitterlich.

Para la elección del FAB se tuvieron en cuenta las características de los rodales a medir, como ser el AB/Ha, la homogeneidad y la densidad de los mismos. Se seleccionó aquel que permitió realizar las mediciones con el mínimo de error de medición posible, esto es, contando en cada giro un mínimo de 10 árboles y un máximo de 20 (Sorrentino, 1996).

El procedimiento para la ubicación de las parcelas fue posible mediante la elaboración previa de cuadrículas utilizando el programa Autocad 2006 con el tamaño mínimo de parcelas enmarcadas en los distintos rodales, a los efectos de sortear al azar filas y columnas, con la intención de abarcar toda la variabilidad existente en cada monte. La distancia entre líneas en la cuadrícula se estableció como la mínima distancia por encima de la cual no es posible medir el mismo árbol en dos parcelas contiguas.

A los efectos del cálculo de los estimadores, media y coeficiente de variación de volumen para cada monte, se utilizó como valor provisional de factor de forma 0,45 estimado por Bonilla y Bottazzi (1964, ver Cuadro No. 1 y Anexo No. II).

3.7.2. Definición del procedimiento de muestreo

De acuerdo con las características de la masa boscosa, se seleccionó un tipo de muestreo acorde a la distribución de los árboles en el sitio, teniendo en cuenta que no hay marco de plantación y existen zonas con abundante regeneración natural, sectores poco densos (en especial aquellos asociados a zonas bajas) y áreas de difícil acceso por la regeneración de *Acacia longifolia*. Por todo esto, se prefirió parcelas de forma circular a parcelas cuadradas.

El muestreo realizado fue el método Bitterlich sistemático con la medición de circunferencia a la altura de pecho para cada árbol contado. Se utilizaron parcelas equidistantes, ya que no existe variación significativa en el sitio en cuanto a las características de los suelos o la existencia de pendientes (Anexo No. I).

3.7.3. Muestreo definitivo

El método de muestreo fue el mismo que en el muestreo preliminar, Bitterlich sistemático con parcelas equidistantes y medición de circunferencias a la altura del pecho.

Las cuadrículas utilizadas para el inventario preliminar fueron ajustadas al tamaño mínimo de parcelas en cada monte, de modo que se pudieran ubicar equidistantes en el croquis correspondiente. Así, en las salidas a campo de ambas etapas se utilizaron las planillas para relevamiento de datos, planos de cada monte con su cuadrícula respectiva, las parcelas ubicadas y los puntos notables señalados, acompañados de una foto satelital obtenida de Google Earth.

En cada parcela se estimaron las variables dendrométricas, circunferencia a la altura de pecho (CAP), altura total y se registró observaciones sobre la conformación, utilizando el sistema de clasificación propuesto en la etapa de gabinete del inventario preliminar (Anexo No. II).

3.7.4. Cálculo de factores de forma

Para la estimación de Factores de Forma se apeó un árbol con DAP próximo a la marca de clase de la clase más frecuente en cada monte.

Se midió la altura del tocón y el largo total del fuste. Luego se tronizó el fuste en rolos de 1 m de longitud hasta el diámetro mínimo comercial de 12 y 15 cm.

Se midió diámetro superior e inferior de cada troza y largo de copa viva.

Con estos datos se calculó volúmenes total y comercial con la fórmula de Smalian acumulado. A partir de estos valores se calcularon Factores de forma totales y comerciales, con y sin corteza (Anexo No. II).

Dado que sólo se pudo apea un árbol por monte y que el Coeficiente mórfico total con corteza promedio de los montes dio en el entorno del encontrado en la bibliografía (ver Cuadro No. 1), se utilizó el factor de forma promedio con corteza igual a 0,47 para calcular los volúmenes (ver Anexo No. II).

3.8. CUANTIFICACIÓN DE LA DENSIDAD DE RODAL

A los efectos de cuantificar la densidad de los distintos rodales, con el fin de valorar el estado de competencia y establecer las prescripciones necesarias para su manejo se calcularon los siguientes indicadores: Índice de Densidad de Rodal, Factor de Espaciamento, Densidad Relativa y Coeficiente de Espaciamento para cada rodal.

En este sentido los cálculos se orientaron en la determinación del IDR, y la factibilidad en su uso para los rodales considerados. Posteriormente se calcularon los restantes índices mencionados y su relación con el IDR para estudiar el comportamiento de estas variables entre sí.

El cumplimiento de este objetivo se planificó en dos etapas: En la primera se ajustó una recta para validar el modelo de IDR, con los datos número de árboles por hectárea y diámetro cuadrático medio, obtenidos del inventario y seguidamente se calcularon los límites de los rangos poblacionales para la especie en cuestión.

El IDR se calculó para cada parcela utilizando dos procedimientos: primero se aplicó la fórmula general de Reineke, adaptada al sistema métrico decimal (4), y luego, para mejorar el ajuste, se obtuvieron los parámetros de la ecuación (3) para *Pinus pinaster* (Anexo No. II).

Con el fin de definir el grado de ajuste de la ecuación (3), se calcularon los logaritmos de DAP medios cuadráticos y densidad de rodal expresada como número de árboles por hectárea en cada parcela, obtenidos de los resultados de inventario.

Se realizó un análisis de regresión de las variables mencionadas, a fin de obtener una curva de regresión ajustada con su pendiente e intercepto calculados.

En segunda instancia, debido a su densidad de rodal inconstante, con muchos claros, la información del Monte 4 se excluyó de la base de datos en el análisis de regresión. El efecto borde no podía ser evitado en todas las parcelas de inventario, en especial en el Monte 4, de modo que este análisis se hizo con datos de los cinco montes restantes.

Complementariamente se calcularon el coeficiente de esbeltez, y el índice de estabilidad, para evaluar el posible comportamiento de la masa ante una reducción más o menos drástica en la densidad de rodal.

3.8.1. Ajuste del modelo para los montes inventariados

Como ya se ha mencionado el Índice de densidad del rodal (IDR), desarrollado por Reineke (1933), es una expresión de la regla del auto-raleo, esto es, existe una relación lineal inversa entre el Logaritmo del número de árboles por hectárea y el logaritmo del DAP medio en poblaciones en situación de competencia. Según Ortiz (1989) los parámetros pendiente e intercepto de esta función lineal pueden variar con la especie. Por ese motivo, se realizará una estimación de los mismos para *Pinus pinaster* Ait..

A continuación puede verse el modelo lineal propuesto:

$$\boxed{\log N = C + \beta \log (DQM)} \quad (8)$$

Donde:

N= número de árboles por hectárea

C=intercepto

β =pendiente

DQM=diámetro cuadrático medio

Para la determinación de los coeficientes del modelo se realizó el siguiente procedimiento:

1. Determinación de las parcelas en situación de auto-raleo.
 - a. Identificación de los montes en situación de ocupación completa.
 - b. Detección de las parcelas en situación de competencia.
2. Ajuste de regresión para las parcelas seleccionadas
3. Cálculo del IDR para todas las parcelas de los montes inventariados utilizando los parámetros obtenidos del ajuste de regresión.
4. Detección de la línea de densidad máxima.
5. Determinación de los límites de densidad máxima y mínima.
6. Clasificación de las parcelas según su nivel poblacional.

Las características que hacen al bosque bajo estudio apto para el estudio del IDR son: sus condiciones actuales, acentuadas por la falta de manejo, esto se confirmó in-situ con la presencia de árboles suprimidos, muertos en pie, así como la presencia de un dosel cerrado (condición de ocupación total del sitio o sitio a capacidad completa) en la mayoría de los rodales.

Otra característica importante es la existencia de bosques de distintas edades, obteniendo así, un amplio rango de valores de diámetro, necesarios para el cálculo de IDR.

El monte 4 no cumple con las características anteriormente citadas, como ya se mencionó, según lo observado in situ, presenta una situación atípica frente al resto, con alta probabilidad de efecto borde en las parcelas inventariadas debido a su forma larga y fina, con presencia de claros, y se encuentra ubicado en una zona donde es probable haber tenido cortas (ver Anexo No. II).

Para poder identificar cuáles de las parcelas inventariadas se encontraban efectivamente en situación de competencia, se aplicó el método propuesto por Ortiz (1989), de forma que se calculó un IDR inicial para todas las parcelas inventariadas, utilizando la fórmula siguiente, con $\beta=1$. Seguidamente, en base al valor del IDR calculado, se ordenaron las parcelas en forma decreciente y se seleccionaron aquellas ubicadas por encima del 60 % del IDR mayor. Se seleccionó este % ya que toda la bibliografía consultada coincide en que a este nivel de densidad ya se da la competencia completa, y las parcelas ubicadas por encima de este nivel de densidad son consideradas en situación de auto-raleo. Luego teniendo en cuenta la ubicación de las parcelas en el rodal, se verificó que ninguna de las seleccionadas presentara algún tipo de efecto borde que pudiera afectar el cálculo.

Fórmula de IDR simplificada:

$$\boxed{\text{IDR} = N \left(\frac{\text{DQM}}{25} \right)^\beta} \quad (9)$$

Donde:

N = número de árboles por hectárea

β = pendiente

DQM = diámetro cuadrático medio

Luego a las parcelas seleccionadas se les realizó el cálculo de los parámetros intercepto y pendiente, a través del uso de la utilidad Análisis de Regresión de Microsoft Excel, de forma de ajustar el modelo mencionado.

3.8.2. Cálculo del IDR y sus límites máximo y mínimo

Con la nueva pendiente obtenida se utilizó la fórmula (9) para calcular los IDR por parcela de cada monte.

Se tomaron como límites de densidad los utilizados por Rebottaro et al. (2007), Valbuena et al. (2008), ya que ambos trabajaron con pino y el último con pino marítimo.

Así se determinó el IDR máximo a partir del cual se definieron los límites de densidad superior (55% del IDRmax) e inferior (35% del IDRmax). De esta forma, quedó definida una franja de subpoblación, por debajo del 35%, otra de bien poblado entre el 35% y 55% y finalmente otra de sobrepoblación por encima del 55%. Cabe aclarar que se tomaron estos límites porque son los más utilizados en la bibliografía consultada.

Con los valores obtenidos se elaboraron diagramas de densidad para la especie bajo estudio, de manera de presentar la información de manera gráfica y esquemática, esto permitirá ajustar los planes de raleo de una forma más clara, facilitando la tarea de interpretación de la información por parte del lector.

3.8.3. Cálculo de otros coeficientes silvícolas

Además del IDR, se calcularon otros coeficientes silvícolas, tales como Coeficiente de espaciamiento (Ce), el Factor de espaciamiento de Hart-Becking (Fe %), la Densidad relativa (DR) a los efectos de establecer el estado de competencia de la masa y el coeficiente de esbeltez en el rodal residual, para evaluar la posible respuesta en vuelco por viento luego de una corta intermedia.

Por otro lado se aplicó un análisis de regresión a los coeficientes mencionados a los efectos de contrastarlos con el IDR.

3.8.4. Metodología para el cálculo de factor de espaciamiento y coeficiente de espaciamiento

Para el cálculo del Ce, y Fe fue necesario identificar los DAP medio y la Altura media de dominantes y codominantes de los 100 árboles más altos de la hectárea. Debido a no estar registrada la posición en el dosel de todos los árboles inventariados, se considera una buena aproximación utilizar los árboles de diámetros mayores de cada parcela como referencia¹. Para esto, fue necesario calcular la superficie de cada parcela. Y, para ello, primero se halló el número de árboles por ha.

Esto se realizó calculando para cada árbol el número de árboles que representaba en la hectárea, calculando el área basal por ha generada por cada árbol dividido su área basal individual, (ver fórmula No. 10, y Anexo No. IV). Luego sumando el resultado de todos los árboles de la parcela se obtiene el número de árboles por ha.

$$\text{Narb/ha} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{4 \times N_i \times FAB}{DAP_i^2 \times \pi} \quad (10)$$

Con el número de árboles por ha y la suma de los n=1, más los n=0,5 de la parcela, se pudo calcular su superficie en base a una simple regla de 3.

Para calcular el DAP medio de dominantes y codominantes, se tomaron en cuenta los 100 mayores por ha, así, mediante una regla de 3 se determinó el número de árboles de la parcela que proporcionalmente corresponden a 100 árboles por ha a ser considerados. El cálculo se efectuó para todas las parcelas y luego se promedió el número de árboles seleccionados para cada parcela.

En el caso del índice de estabilidad respecto al viento (Cremer, citado por Shepherd, 1986) el criterio para el cálculo de la altura total media de dominantes y codominantes, fue el mismo utilizado para el cálculo de coeficiente y factor de

espaciamiento, pero en este caso tomando en cuenta los 200 árboles de mayor tamaño por hectárea. Además, dada la situación de que se disponía de una sola altura por clase, la de la marca de clase, el peso de cada altura considerada en el promedio final se correspondía con el número de representantes de la clase considerados.

3.9. ELABORACIÓN DE DIAGRAMAS DE DENSIDAD

Para la elaboración de los diagramas de densidad, primero se trazaron las isolíneas de IDR correspondientes a la línea de densidad máxima, y los límites superior e inferior de población adecuada para todos los diámetros cuadráticos medios y número de árboles por hectárea.

Lo mismo se repitió para los restantes coeficientes calculados, DR, Fe % y Ce. En estos casos, para fijar los límites de población se recurrió a las ecuaciones de regresión con el IDR. Se calcularon los límites para cada coeficiente, tomando en cuenta los límites del IDR.

No se incorporó la altura como variable para la elaboración del gráfico, dada la disponibilidad de alturas sólo para las marcas de clase, lo que se consideró insuficiente para poder obtener una regresión altura : DAP con una correlación aceptable, es decir una función hipsométrica que permitiera elaborar las isolíneas requeridas.

Los diagramas de densidad se trazaron de dos formas, viz. gráfico Log – Log y en un gráfico de número de árboles por ha versus diámetro cuadrático medio.

3.9.1. Raleo

Luego de conocida la evaluación de la situación de partida de los montes se elaboró un plan de manejo que permita mejorar el estado general de los rodales de *P. pinaster* del predio bajo estudio.

Es por esto que se procura definir calendarios de raleos con métodos combinados (raleos por lo bajo, por lo alto y de selección), con predominio del primer tipo, con los que se obtenga madera utilizable y a su vez se cumplan los objetivos de mejora de la masa remanente. Debido a estos métodos y a la gran variabilidad observada en cuanto a densidad de rodal, tamaños de árboles y espaciamientos, el trabajo de marcación de raleos y cortas de mejora es de suma importancia.

El manejo silvícola estará además orientado a la mejora de la sanidad y seguridad del bosque. Esto requiere la aplicación de cortas sanitarias y de recuperación,

para mejorar su calidad, disminuyendo el riesgo de incendios y la incidencia de plagas y enfermedades. Esto permitirá conservar el bosque y su función como fijador de las dunas.

Simulación de raleo

A los efectos de establecer una metodología y sistematización en la intervención sobre la masa de los rodales, se realizó una simulación de raleo con los datos recabados y calculados en las planillas electrónicas de inventario.

El objetivo de la simulación de raleo es establecer el peso de corta, aplicando los criterios de selección de los árboles a ser apeados en cada monte, en la etapa de gabinete previa. Para esto, se buscó determinar con qué peso de raleo se obtenía un índice de densidad de rodal (IDR) adecuado, o sea dentro del rango “bien poblado”, tan cercano al límite inferior de la categoría como fuera posible. De esta forma se obtiene una reducción en el nivel de competencia del rodal por un mayor lapso de tiempo, en una zona de competencia creciente. Dentro de cada monte la simulación se efectuó parcela por parcela. En este sentido se utilizaron como criterios de decisión los límites de IDR calculados y los defectos en la conformación de los árboles observados.

También se calcularán Fe %, DR y Ce posterior al raleo para cuantificar y evaluar cómo se comportan en relación al IDR.

Finalmente se promediaron los resultados de todas las parcelas de cada monte.

Cuadro No. 7. Coeficientes calculados después del raleo por parcela

Coeficientes silvícolas calculados luego del raleo.	DAP _{med. final}	Calculado a partir de los árboles restantes en la parcela luego del raleo.
	Arb. Remanentes	Calculados a partir del coeficiente final objetivo.
	% Raleo	
	IDR Reineke	Calculado con la fórmula de Reineke.
	IDR FINAL	Calculado luego de haber modificado del Ce final objetivo.
	DAP _{med D,CD}	Calculado con los árboles remanentes en la parcela.
	Ce final	Coefficiente de espaciamiento final real, es el calculado con los árboles remanentes.
	Fe % final	Factor de espaciamiento final real, es el calculado con los árboles remanentes.

Secuencia seguida para la simulación de raleo en cada parcela

En la información de cada parcela ingresada en la planilla electrónica se aplicó el procedimiento de simulación de raleo que se describe a continuación.

En la planilla de carga de datos de la parcela, se ordenaron los árboles según DAP en orden decreciente y se incorporaron las observaciones realizadas a campo que fueran útiles para la toma de decisiones sobre la permanencia o extracción del árbol. Para cada árbol se estimó la contribución a la densidad de rodal (i.e., número de árboles por ha. que representa cada individuo de la parcela). Se estableció una celda donde señalar permanencia en el rodal o extracción.

Es así que en cada parcela se aplicó una eliminación árbol a árbol teniendo en cuenta sus defectos.

En la selección de los árboles a extraer en cada parcela, se aplicó el conjunto de criterios descritos en 4.2.4. Primero se seleccionaron todos los individuos suprimidos, y se los marcó como raleados, ya que es pocos probable que lleguen con

vida a la próxima intervención. Seguidamente se ordenaron los árboles según sus defectos, desde aquellos de mayor a los de menor DAP. Una vez eliminados en la simulación los árboles con defectos, los restantes individuos a raleo fueron los menos vigorosos.

Simultáneamente se observa cómo va cambiando el IDR, Fe % y Ce. Cuando la parcela se acerca al nivel de IDR objetivo, se pasa a la siguiente. El nivel de IDR objetivo se encuentra en la zona de bien poblado, más cerca del límite inferior de esa categoría.

Con los nuevos Ce y el $DAP_{medioD,CD}$, se determinó el número de árboles por hectárea remanentes; y, por diferencia con el número de árboles por ha existentes, se obtiene el número de árboles a retirar por ha y el porcentaje de raleo efectuado.

Una vez determinada la intensidad de raleo a efectuar para obtener el IDR objetivo en cada parcela, se completa el raleo extrayendo los arboles necesarios, quedando fijado el IDR final.

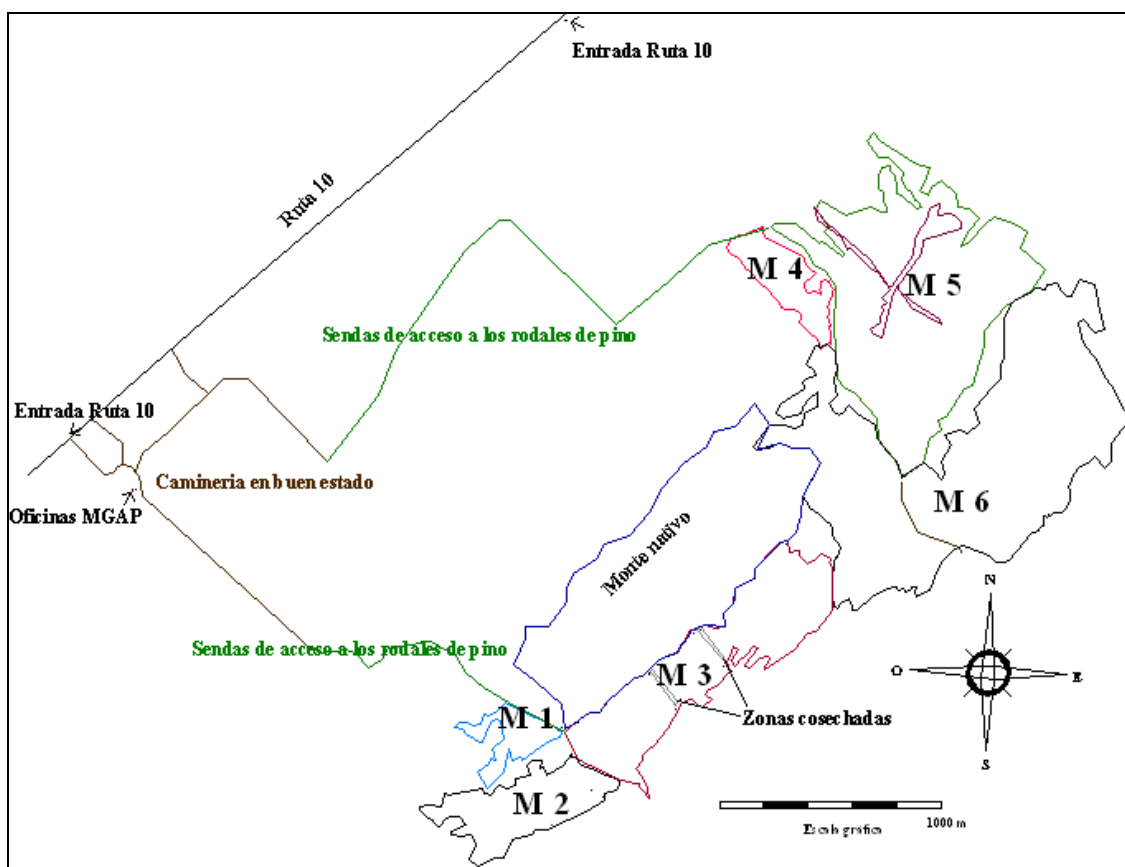
Por último se utilizara esta información, (IDR final, Ce, Fe, DR, número de árboles remanentes y DAP final) para la elaboración de los diagramas de densidad.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. MAPEO Y CÁLCULO DE SUPERFICIES DE RODAL

Con el fin de cumplir con el objetivo de realizar una descripción en área, volumen de existencias en crecimiento, forma y defectos, es que se obtuvo un croquis de las principales unidades silvícolas del predio, entre las cuales se halla el conjunto de seis rodales de *P. pinaster* (Figura No. 10. Croquis del predio).

Figura No. 10. Croquis del predio



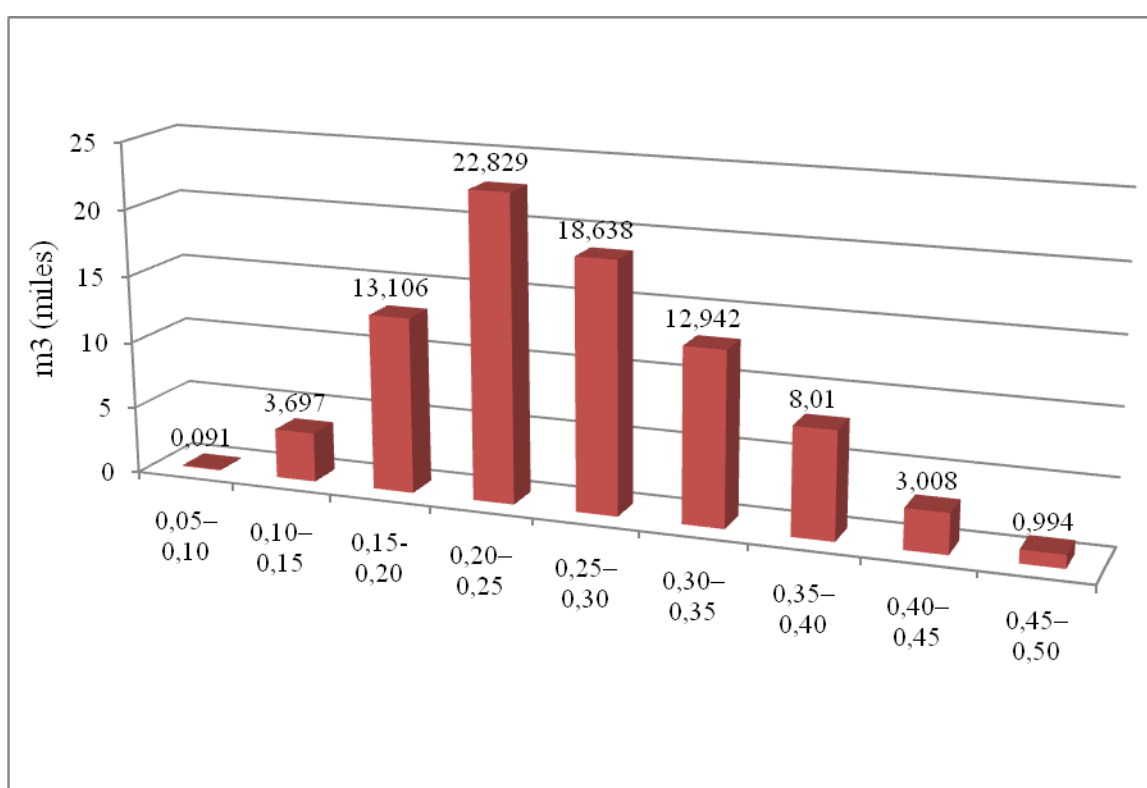
Como puede verse en la Figura No. 10. Croquis del predio, los montes 1, 2 6 y especialmente el monte 3 cumplen la función de cortina forestal, protegiendo al monte nativo de los vientos dominantes del Sureste. Por otro lado, es notoria la falta de infraestructura en caminos de acceso y cortafuegos.

Los montes 1 y 4, son los que tienen una menor relación superficie / perímetro, además presentan más claros por lo que es más probable la existencia de parcelas con efecto borde y por lo tanto que se registren individuos con tamaño mayor al promedio del rodal (ver Anexo No. III).

4.2. INVENTARIO

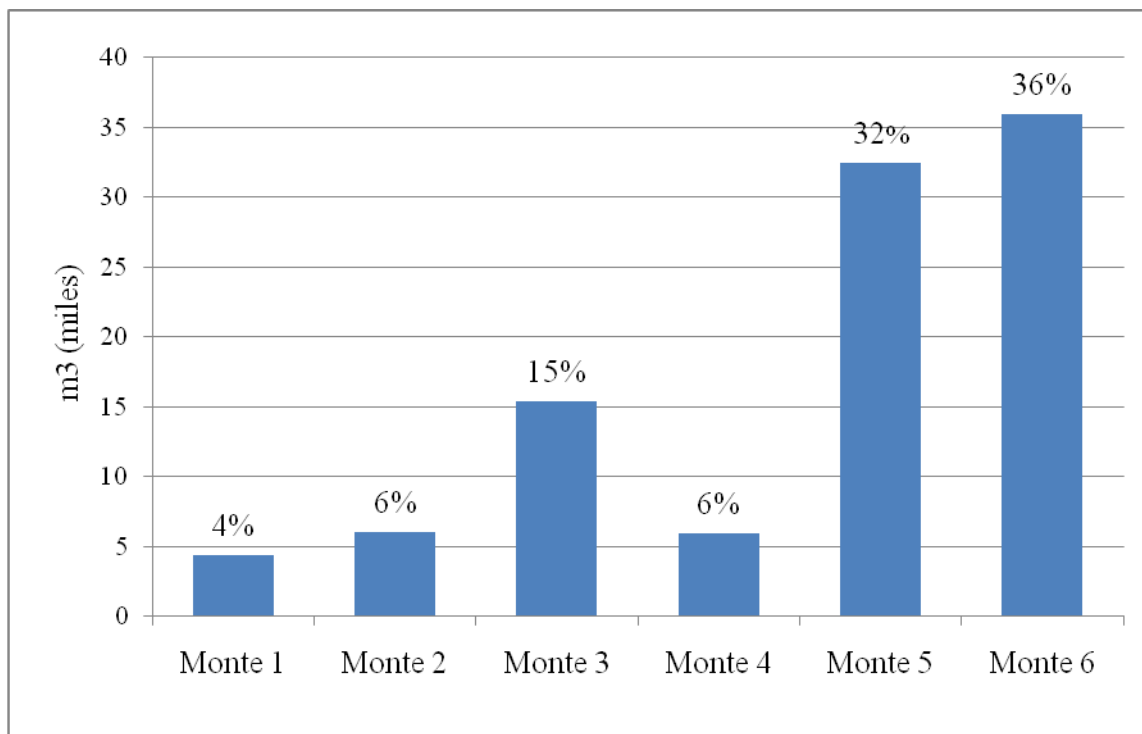
A continuación se describe la información referente a los montes recabada en la etapa de inventario. La misma se elaboró en base a la distribución de las poblaciones según clases diamétricas.

Figura No. 11. Volumen de madera total en pie según clase diamétrica (cm.)



Se presenta a continuación la distribución de los volúmenes de madera por monte para el total de las existencias.

Figura No. 12. Contribución volumétrica según monte (m3 totales)



Como se puede apreciar en la Figura No. 132, los Montes 6, 5 y 3 son los que más volumen de existencias aportan a la plantación, acumulando el 84 % del total.

En el Cuadro No. 11 se resumen los datos obtenidos en el inventario.

Cuadro No. 8. Resultados del muestreo de los montes de *P. pinaster*

M	E	P	FAB ¹	DAP (m)			Número de árboles/ha			Volumen (m ³ /ha)		
				\bar{x}	Σ	c.v. %	\bar{x}	σ	c.v. %	\bar{x}	σ	c.v. %
1	26	7	2	0.34	0.04	11	516	163	32	349	57	16
2	40	10	2	0.22	0.05	22	1189	330	28	268	81	30
3	29	11	2	0.25	0.02	10	992	221	22	315	71	22
4	29	6	4	0.31	0.02	6	764	62	8	476	138	29
5	26	21	2	0.30	0.03	10	699	157	23	353	72	20
6	23	6	2	0.21	0.02	11	1463	310	21	281	36	13

Referencias: M= número de monte, E=edad en años, P= parcelas o número de puntos muestreados, FAB – Factor de área basal, \bar{x} = media, σ = desvío estándar, c.v. % = coeficiente de variación.

Observación: el muestreo se realizó en enero de 2006.

Puede observarse la similitud de los datos de algunos montes con la información de otros autores en poblaciones de *P. pinaster* con características similares a las estudiadas, como es el caso de Bouillard (1972) en San Clemente del Tuyú respecto a los Montes 2 y 6 (cf. Cuadro No. 3 y Cuadro No. 1).

Tanto en densidad de rodal (número de árboles por hectárea) como en volumen de existencias en crecimiento se obtuvo coeficientes de variación altos, lo que es normal en este tipo de poblaciones de *P. pinaster*. En relación al volumen de existencias, el monte 6 presenta el valor de C.V. % más bajo, y los montes 4, 5 y 1, en orden decreciente, presentan los mayores volúmenes, siendo además los que tienen una menor exposición a los vientos. El Monte 4 tuvo los C.V. % más bajos en DAP medio y número de árboles por hectárea, pero tuvo así mismo uno de los más altos en Volumen por hectárea (ver Anexo No. III).

Para más detalles de los resultados del inventario, (volumen, % de defectos, suelos, IMA) presentado para cada uno de los montes, ver el Anexo No. III.

4.3. ESTIMACIÓN DE COEFICIENTES SILVÍCOLAS

4.3.1. Ajuste del IDR para los montes inventariados

Según Reineke, citado por Rebottaro et al. (2007), desde el punto de vista metodológico, se recomienda usar un rango amplio de valores de diámetro cuadrático medio (DQM) para poder describir la línea de densidad máxima de una especie dada.

Cuadro No. 9. Caracterización de los datos utilizados

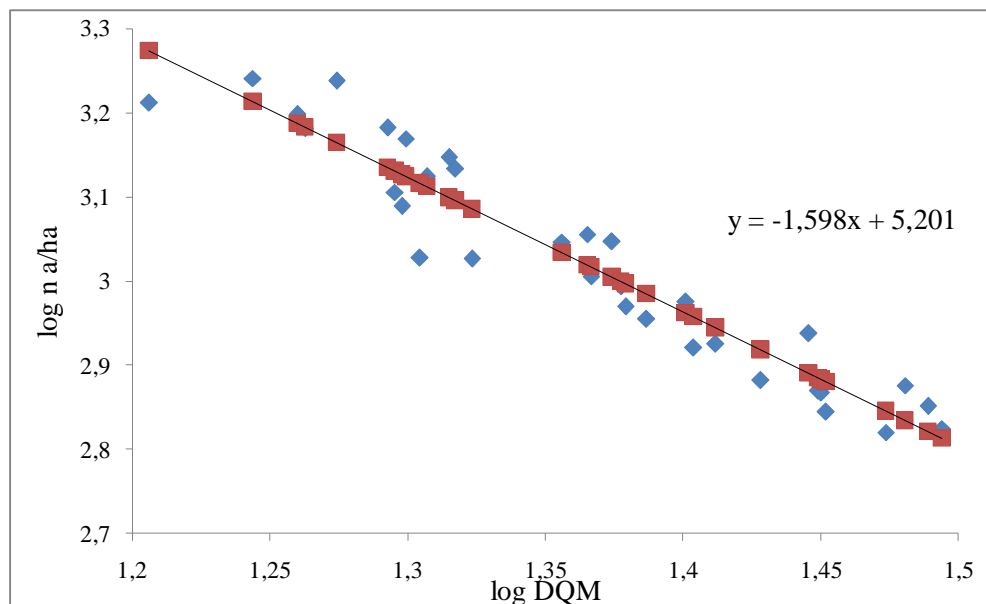
	No. árboles/ha.	DQM (cm)
N	33	33
Promedio	1101	0,23
Máximo	1741	0,31
Mínimo	661	0,16
Rango	1080	0,15
Desvío	348	0,05
CV (%)	32	20

Como puede observarse en el Cuadro No. 12, tanto en DAP medio cuadrático como en número de árboles por hectárea, los valores utilizados, presentan un amplio rango de dispersión.

Otro aspecto positivo del caso bajo estudio es que la masa no fue intervenida, lo que resulta favorable para el cálculo del IDR.

Se calculó logaritmos de DAP medios cuadráticos y número de árboles por hectárea en cada parcela, obtenidos de los resultados del inventario. Se graficaron estos datos y se ajustó una curva de regresión.

Figura No. 143. Curva de regresion ajustada log N árboles/ha vs. log DAP medio cuadrático



En la Figura No. 153, se observa el resultado del ajuste de la curva de regresión, para la función $Y = bx + k$. Se obtuvo una pendiente $b = -1,598$ y un intercepto $k = 5,201$; estos valores son similares a los obtenidos para otras especies de pino (ver Cuadro No. 4).

La ecuación ajustada es entonces:

$$\boxed{\text{Log}(N/\text{ha}) = -1,598 \times \text{Log}(\text{DQM}) + 5,201} \quad (11)$$

Donde,

N = número de árboles/ha

DQM = diámetro cuadrático medio (m)

Del análisis de regresión surgen los siguientes resultados:

Cuadro No. 10. Análisis de regresión

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	-0,96
Coefficiente de determinación R^2	0,91
R^2 ajustado	0,91
Error típico	0,039
Observaciones	33

Como se observa en el Cuadro No. 13, el coeficiente de correlación es -0,96, lo cual además de indicar la alta intensidad de asociación, marca una relación inversa entre las variables. Esto indica que el aumento en el DQM, va acompañado de una disminución en el número de árboles por hectárea. Por otro lado, el coeficiente de determinación nos indica que el 91% de la variabilidad total está explicada por el modelo. Esto significa que se tiene buena capacidad de predecir número de árboles por hectárea a partir de DQM. En otros términos, se puede afirmar que, en situación de mortalidad inminente por competencia (e.g. antes de un raleo u otra intervención), dado un diámetro medio futuro, es posible calcular la densidad de población correspondiente.

En el cuadro siguiente se exponen los coeficientes calculados para la recta junto con sus límites para un 95 % de confianza.

Cuadro No. 11. Coeficientes para la ecuación ajustada

	Coeficientes	Límites de confianza (95%)	
		superior	inferior
Intercepción (k)	5, 201	5,446	4,956
Pendiente (b)	-1, 598	-1,419	-1,777

Se realizó una prueba de significancia para la regresión, a los efectos de determinar si existe una relación lineal entre el logaritmo del número de árboles por hectárea y el logaritmo del DQM.

Se realizó una prueba F como parte del análisis de regresión para un nivel de significancia del 95 %. En esta prueba se parte de dos hipótesis, $H_0: \beta = 0$, y $H_a: \beta \neq 0$. Si se rechaza la H_0 de que la pendiente es igual a cero y por lo tanto se acepta la H_a de que es distinta de 0, entonces existe una relación lineal entre las variables estudiadas. En este caso, dio altamente significativo, con un $F=330,9$, un F de tabla= 0,8245 y valor de $P=4,26 \times 10^{-18}$.

Cuadro No. 12. Análisis de varianza

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,505	0,505	330,87	$4,259 \times 10^{-18}$
Residuos	31	0,047	0,002		
Total	32	0,552			

El valor de F calculado fue mucho mayor al valor crítico de tabla; por esto, se rechaza la H_0 , que el diámetro cuadrático medio no contribuye de manera significativa al modelo, y se acepta la H_a de que la relación entre ambas variables no se estableció por azar. Como el valor de P observado, probabilidad de que se dé una muestra como la que se obtuvo sin que ambas variables estén vinculadas, es muy pequeño, mucho menor a 0,05, se acepta que las variables están correlacionadas. Dado que la probabilidad de que esto no sea así y sea una situación excepcional es de $1/P$ o sea 1 en $2,34 \times 10^{17}$.

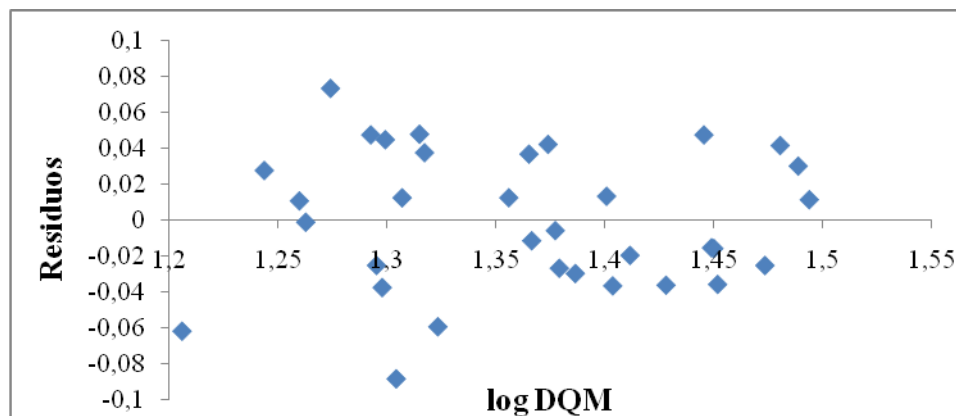
A los efectos de evaluar la significancia de los coeficientes calculados, se realizó una prueba t.

Cuadro No. 13. Resultados de prueba t

	Coefficiente	Error típico	Estadístico t	Probabilidad.
Intercepción	5,201	0,120	43,355	2,593E-29
Pendiente	-1,598	0,089	-18,200	4,260E-18

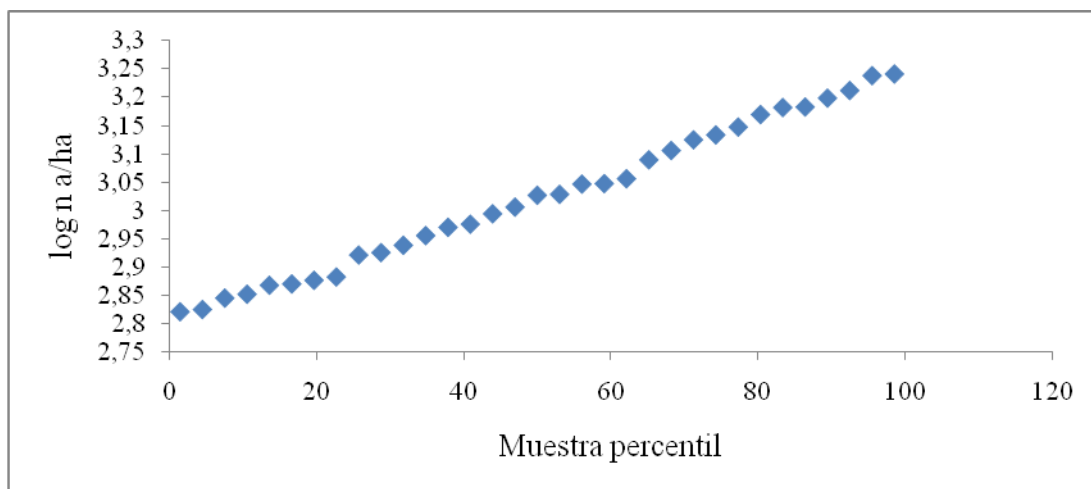
El t de tabla para n-2 grados de libertad y una probabilidad de 0,05 es 2,04, por lo que los coeficientes estimados son altamente significativos, i.e. entre Log de DMQ y Log del número de árboles por hectárea existe una relación lineal significativa.

Figura No. 164. Estudio de residuales



En la Figura No. 14, estudio de residuales, se puede observar que no hay tendencia en la distribución de los puntos en torno al eje; se acepta entonces que la respuesta es lineal y no hay heterogeneidad de varianza. En la figura No. 15, se presenta el gráfico de probabilidad normal devuelto por Excel, en el cual puede verse una relación lineal, por lo que se cumple con el requisito de que los residuales se distribuyan normalmente. Por otro lado, se realizó una prueba de Shapiro – Wilks, utilizando el software Infostat; obtuvo como resultado un $W^*=0,94$ y un p (para una cola)=0,183, muy superior a $\alpha = 0.05$, por lo que no se puede rechazar la hipótesis de distribución normal.

Figura No. 175. Gráfico de Probabilidad normal



4.3.2. Cálculo de los valores críticos de densidad de rodal

A los efectos de calcular los límites de densidad de población para el IDR, se tomó el criterio planteado por Langsaeter (1941). Se identificó entre las parcelas de todos los montes estudiados a aquella con valores más altos de IDR (IDR máx=1097, parcela No. 2, monte 6). De esta forma, se pudo establecer que el límite superior de densidad de rodal, entre las zonas de competencia creciente y mortalidad inminente, es 603 (55 % del IDR máx.) y el límite inferior, entre las zonas de competencia creciente y libre crecimiento es 384, (35 % del IDR máx.).

Así, quedaron determinadas tres situaciones de densidad de población, una de rodal en situación de crecimiento libre, bajo el límite inferior de densidad; otra de rodal en competencia creciente, entre los límites inferior y superior; y finalmente otra de mortalidad inminente, sobre el límite superior de densidad.

4.3.3. Cálculo de coeficientes silvícolas

En el Cuadro No. 18 se observa que todos los índices silvícolas estimados indican la necesidad de una intervención.

En general los valores de IDR calculados son superiores al límite superior de densidad propuesto ($IDR = 603$), por lo que se encuentran en situación de alta competencia y mortalidad inminente.

Cuadro No.14. Coeficientes silvícolas calculados a partir del inventario

Monte		IDR	Densidad relativa	Coefficiente de Espacia- miento	Fe (%)	Coefficiente de Esbeltez	Índice de estabilidad
1	\bar{x}	738	7,1	11	23	55	0,5
	σ	119	1,2	1	6	5	0,1
	CV	16	17,0	13	24	9	17
2	\bar{x}	861	8,6	10	20	62	0,5
	σ	163	1,6	2	5	7	0,1
	CV	19	18,5	22	25	11	20
3	\bar{x}	866	8,6	9	18	64	0,5
	Σ	121	1,2	1	3	6	0,1
	CV	14	14,1	14	16	9	20
4	\bar{x}	1030	9,9	9	19	61	0,5
	Σ	168	1,6	1	4	6	0,0
	CV	16	15,7	14	19	11	6
5	\bar{x}	823	8,0	10	21	60	0,5
	Σ	118	1,2	1	4	4	0,1
	CV	14	14,3	12	19	7	16
6	\bar{x}	971	9,7	9	20	63	0,5
	Σ	90	1,0	1	9	8	0,1
	CV	9	10,0	16	45	12	30

En lo que respecta a densidad relativa (DR), los mayores valores promedio fueron los estimados para los Montes 4 y 6, 9, 9 y 9,7 respectivamente.

Reid (2009) sugiere que mientras no se tenga mejor información, tomar como punto a partir del cual el rodal está completamente poblado, la mitad de la DR máxima, y por debajo de un cuarto, la densidad en la que la masa crece libremente, en este caso la DR máx es 12,1 para la parcela 2 del monte 4, le sigue con 11,4 la parcela 5 del monte 4, descartándose por ser posibles valores atípicos dada que el monte 4 presenta un crecimiento atípico, le sigue y se toma como DR máxima 11,1 de la parcela 2 del monte 6, la misma que originó el IDR máximo, por lo tanto la mitad sería 5,5 y como puede observarse en el cuadro No. 18, todas las DR son superiores.

Todos los valores de Coeficiente de espaciamento calculados son menores a 13, lo que también indica que se ha establecido un grado de competencia tal que los rodales han entrado en fase de mortalidad inminente.

Los valores de Factor de espaciamento % coinciden en términos generales con lo establecido por varios autores para *P. pinaster* (Crecente et al. 2009, Barrio y Álvarez 2009).

En cuanto al coeficiente de esbeltez, al ser menor a 80, indica que estamos fuera de la zona de riesgo de vuelco por el viento luego de un raleo. Esto quedaría confirmado por el índice de estabilidad, que, dio 0,5 en todos los montes y debe mantenerse por debajo de 0,8 para encontrarse en una zona estable. Por otro lado, como fuera mencionado, para *Pinus pinaster*, el efecto de los vientos sobre la masa está relacionado con la presencia de árboles dominantes, por lo cual, en caso de intervención, es recomendable realizar un raleo selectivo, predominantemente por lo bajo, de esta forma se quedarían la mayoría de los dominantes, lo cual asegura un buen comportamiento ante una liberación.

Cuadro No. 15. Criterio de interpretación de los coeficientes calculados

Índice	Zona de competencia creciente	Comentario / Fuente
IDR	$384 < \text{IDR} < 603$	Límites calculados para este monte.
Ce	$\text{Ce} > 15^1$	-
Fe (%)	$21 < \text{Fe } \% \leq 24$	Para <i>P. elliotii</i> . Day y Gonda (1987).
	$20 < \text{Fe } \% \leq 25$	Para <i>P. pinaster</i> (norte). López (2008).
	$25 < \text{Fe } \% \leq 35$	Para <i>P. pinaster</i> (Continental). López (2008).

Por lo que se puede observar que los montes 4 y 6 al tener valores más altos de IDR están en un estado de sobrepoblación mayor. Dejando de lado el monte 4, por la posibilidad de efecto borde ya mencionada, en orden decreciente de sobrepoblación, sería los Montes 6, 3, 2, 5 y 1.

Estos indicadores confirman el estado de auto raleo para los montes 2, 3 y 6, donde además se evidencia una mayor competencia en el monte 6. Podría afirmarse que en el caso de este grupo de montes, los Montes 2 y 3 ya pasaron la línea de auto-raleo ($\text{IDR} = 603$) y ocurrió la mortalidad por lo que su IDR se posicionó en un nivel más bajo.

En el caso del Monte 6, con el IDR más alto, se están dando efectivamente condiciones de severa competencia, ya que su IDR sobrepasa la línea de auto-raleo. Se puede predecir en consecuencia que ocurrirá la muerte de cierta proporción de individuos y que el IDR tenderá a estabilizarse en un valor cercano $\text{IDR} = 603$.

4.3.4. Comparación entre los distintos índices silvícolas

A los efectos de comparar los distintos índices silvícolas, se realizó un análisis de regresión para cada uno contra el IDR calculado, posteriormente, dada la presencia de datos atípicos, posiblemente originados por errores de medida o situaciones no

representativas de los rodales, y se volvió a realizar el mismo análisis sin ellos (ver Anexo No. III). Determinándose los resultados expuestos en el siguiente cuadro.

Cuadro No. 19. Resumen de análisis de regresión aplicado al IDR calculado con Ce, Fe (%) y DR, para el 95 % de confianza

	Comparación con IDR calculado		
	DR	Ce	Fe (%)
Coefficiente de correlación múltiple	0.99	0.84	0.72
Coefficiente de determinación R^2	0.99	0.70	0.52
R^2 ajustado	0.99	0.69	0.51
Error típico	15,8	75,1	99,0
F calculado	5217,9	132,7	61,4
Valor P	2,8E-59	1,6E-16	1,5E-10
Función ajustada (IDR=)	$99,7x - 19,3$	$-82,9x + 1656,7$	$-24,0x + 1331,9$
Intervalo de predicción ¹	$\hat{Y}(x_0) - 36,2 \leq Y_0 \leq \hat{Y}(x_0) + 36,2$	$\hat{Y}(x_0) - 172,8 \leq Y_0 \leq \hat{Y}(x_0) + 172,8$	$\hat{Y}(x_0) - 227,8 \leq Y_0 \leq \hat{Y}(x_0) + 227,8$

¹ Donde: $\hat{Y}(x_0)$ es una observación futura en el punto x_0 y el intervalo está dado por $\pm t_{\alpha/2, n-p} \times$ error típico

En el Cuadro No. 20 puede verse que existe una alta correlación entre el IDR calculado y la densidad relativa, un poco más baja con el Ce (%) y finalmente más baja con el Fe (%). Lo cual denota, en este caso, que es más confiable para estimar el IDR, partir de un valor de densidad relativa o Ce, que de Fe. Y queda reafirmado con los valores de R^2 ya que nos indican que el 99 % de la variación del IDR estaría dada por la densidad relativa, el 70% por el Ce, y el 52 % por el Fe.

En el cuadro siguiente se expone el cálculo de los límites de competencia para los coeficientes silvícolas utilizados, a partir de los calculados para el IDR.

Cuadro No. 16. Determinación de los límites de competencia de IDR con los otros índices silvícolas

	Ce	Fe (%)	Densidad relativa
Límite superior (IDR=603)	12,7	30,4	5,9
Límite inferior (IDR=384)	15,4	39,5	3,7

Como puede verse en los cuadros No. 18 y 21, todos los montes tienen Ce menores a 12,7, también tienen valores de Fe menores a 30,4 y densidades relativas superiores a 5,9 por lo que efectivamente en base a los tres índices silvícolas se concluye la necesidad de intervención. En lo que tiene que ver con la densidad relativa, se puede observar que los límites encontrados utilizando la regresión con el IDR son muy similares a los propuestos por Reid (2009).

4.4. CALENDARIO DE RALEOS

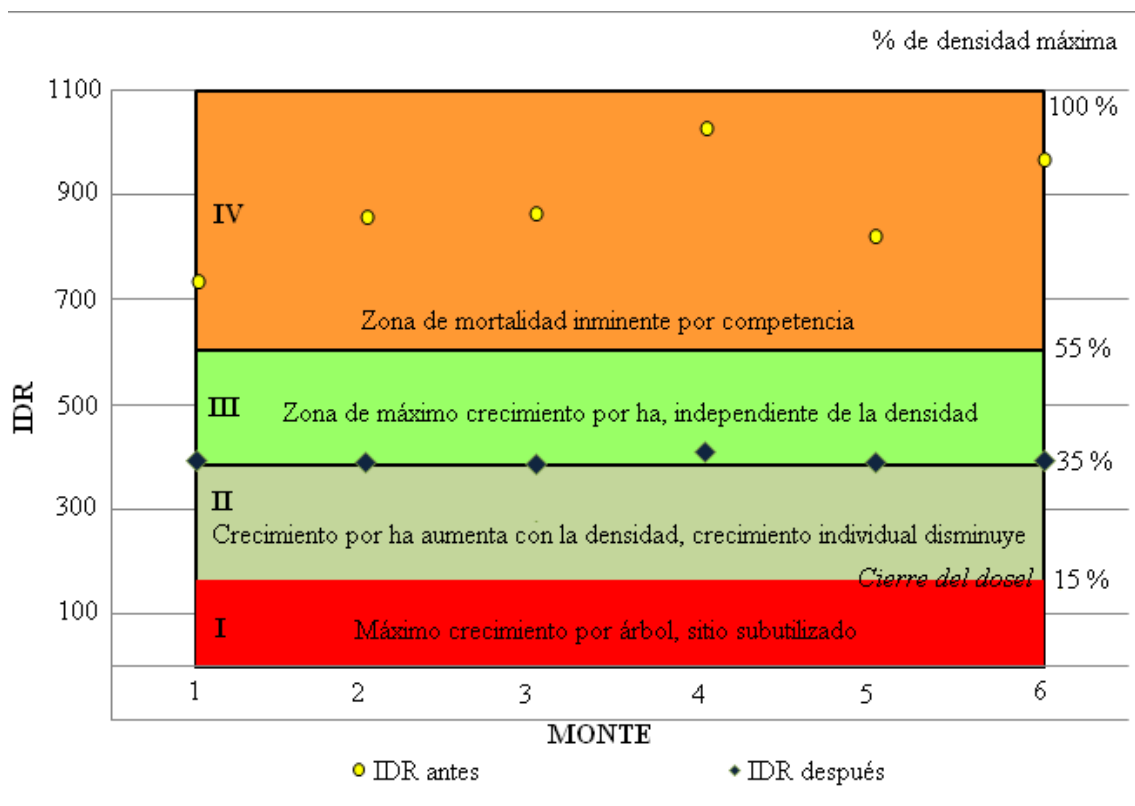
Luego de realizada la simulación de raleo, se calculó nuevamente los indicadores silvícolas, de manera de observar el efecto del raleo prescripto. A continuación puede verse el resumen de los valores resultantes en cada monte.

Cuadro No. 17. Indicadores silvícolas resultantes de la simulación de raleo

	Monte 1	Monte 2	Monte 3	Monte 4	Monte 5	Monte 6
Arb. Remanentes x ha	266	518	386	264	310	565
Arb. a sacar (n/ha)	249	671	606	500	389	898
% Raleo	45	55	60	65	55	61
Dap med.final (m)	0,33	0,23	0,27	0,34	0,31	0,21
IDR FINAL	394	392	387	411	391	393
Ce final (%)	15,9	14,2	15,5	19,4	15,6	16,2
Fe final (%)	32,3	30,0	27,9	32,0	29,9	29,1
Densidad Relativa	3,8	3,9	3,8	3,9	3,8	4,0
Volumen extraído (m ³ /ha)	161	145	166	271	181	165
Volumen Remanente (m ³ /ha)	187	123	149	205	172	116

En el Cuadro No. 22 puede observarse que la mayoría de los indicadores calculados después del raleo (IDR, Ce, Fe %, y DR) quedaron dentro del rango de población en competencia creciente.

Figura No. 186. Efecto del raleo sobre el IDR

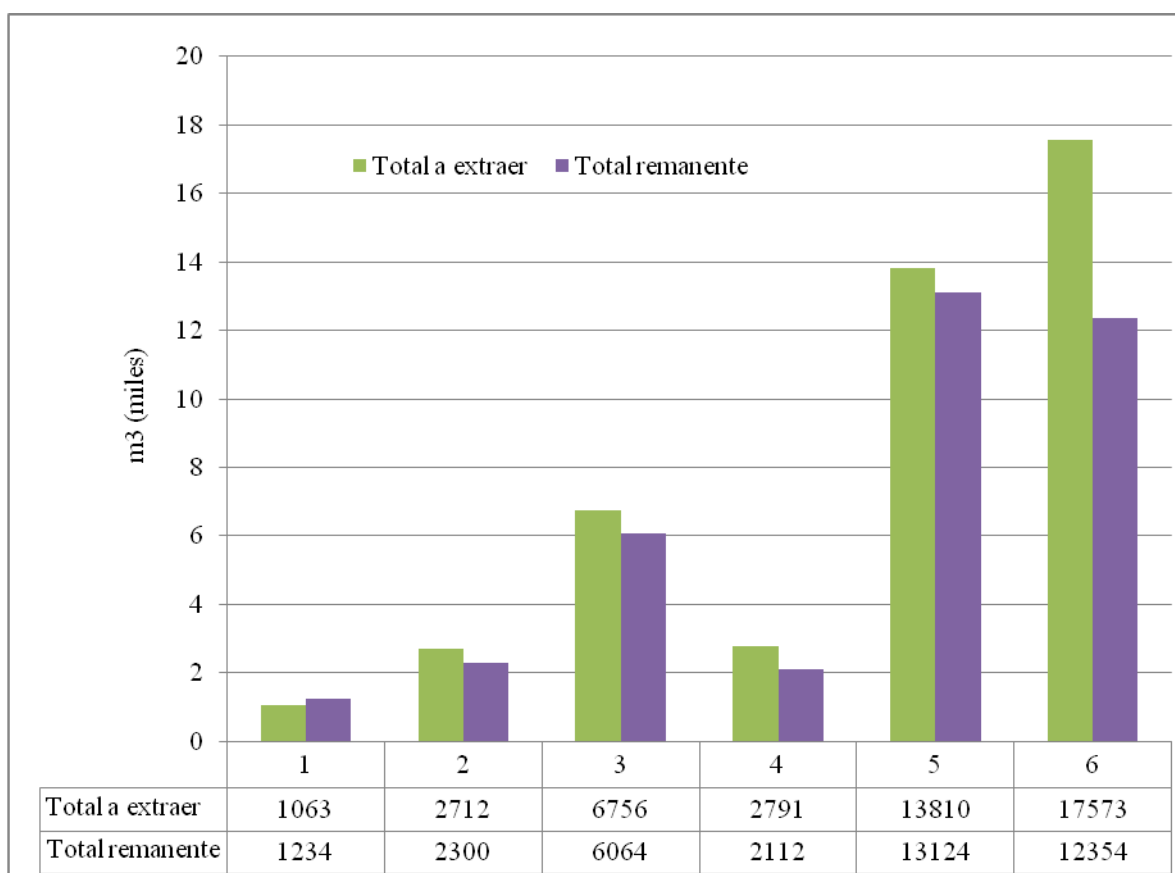


En la figura anterior puede verse que se cumple el objetivo de disminuir los IDR de los montes sobre el límite inferior de la zona III para todos los montes, si bien lo ideal para obtener un mayor crecimiento individual para uso en aserrado sería que los rodales crezcan dentro de la zona II de Langsaeter (ver Figura No. 2) o sea de 15 a 35 % del IDR máximo, en este caso los rodales cumplen un doble objetivo, además de la producción aserrable, existe la función protectora contra vientos y avance de la duna, por lo cual se entiende conveniente mantener el rodal en la zona de máxima ocupación de sitio el mayor tiempo posible. Dado también que los bosques poseen arboles con alta proporción de defectos y se encuentran en un terreno dificultoso para la cosecha, es importante disminuir al mínimo el número de intervenciones. Además una reducción de la densidad por debajo de la línea del 35 % indicaría porcentajes de raleo más altos de lo que fueron propuestos (55 – 60 % en casi todos los montes, ver Cuadro No. 22).

4.4.1. Volúmenes

El siguiente gráfico muestra los volúmenes totales a extraer de cada monte:

Figura No. 197. Volumen a retirar de cada monte en el raleo (m³)

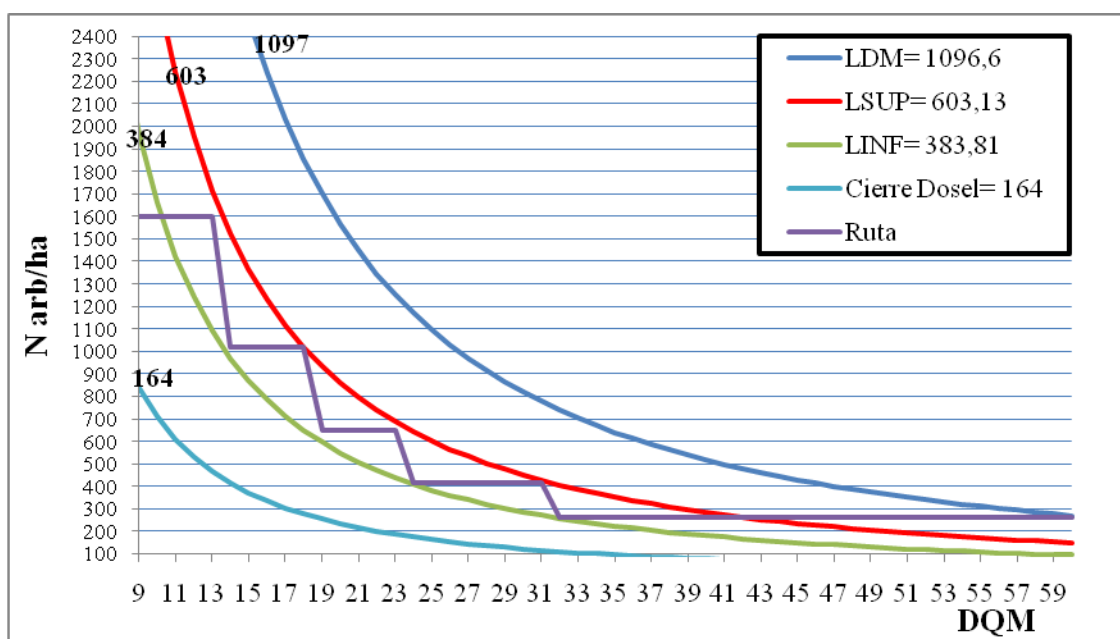


Como se aprecia en la Figura No. 17, los montes 5 y 6 son los que mayor rendimiento en volumen tendrán en el raleo; a su vez son los que mayor volumen de existencias en pie tendrán luego de esta intervención.

4.5. DIAGRAMAS DE DENSIDAD

A continuación se presentan los diagramas de densidad para *P. pinaster* de IDR, DR, Ce y Fe% como variables de rodal. Se estableció sus límites y se trabajó sobre un ejemplo de programa de raleos de severidad similar.

Figura No. 208. Diagrama de densidad para Índice de Densidad de Reineke



En el gráfico de la Figura No. 18, pueden verse la línea de densidad máxima calculada para este rodal (línea azul) y los límites de densidad máximo y mínimo (líneas de color rojo y verde respectivamente) correspondientes a la zona III de Langsaeter (1941). La línea celeste indica el límite de cierre de dosel. En cuanto al sistema de raleos o programa de cortas propuesto (línea de color violeta), supone una plantación inicial de 1600 árboles por hectárea. Se representan 4 cortas; en cada una, cuando el rodal llega al límite de densidad superior, dentro de la zona III, se realiza la corta y ésta ocurre con una intensidad suficiente para llevarla a la densidad correspondiente al límite inferior de esa zona. La intención del programa de raleos propuesto es mantener siempre a la densidad del rodal dentro de la zona de máximo crecimiento de la masa, con el mínimo número de raleos posibles. El procedimiento en campo es la medición periódica de diámetros para estimar DMQ y número de árboles por hectárea del rodal. Con estos datos se verifica en la gráfica en qué punto se encuentra la densidad del rodal. Si fuera cercana al límite superior, se ralearía; entonces se lee en el diagrama el número de

árboles por hectárea para ese DQM calculado que pondría al rodal cercana al límite inferior de la zona III de Langsaeter (1941). Así, se obtiene porcentaje de raleo por diferencia entre el número de árboles inicial y final. Se inicia un período de crecimiento en diámetro con el número de árboles por hectárea fijo hasta el próximo raleo. Al establecer el número de raleos a aplicar se puede definir el número de árboles por hectárea final y su DQM esperado.

Figura No. 19. Diagrama de densidad con Densidad Relativa

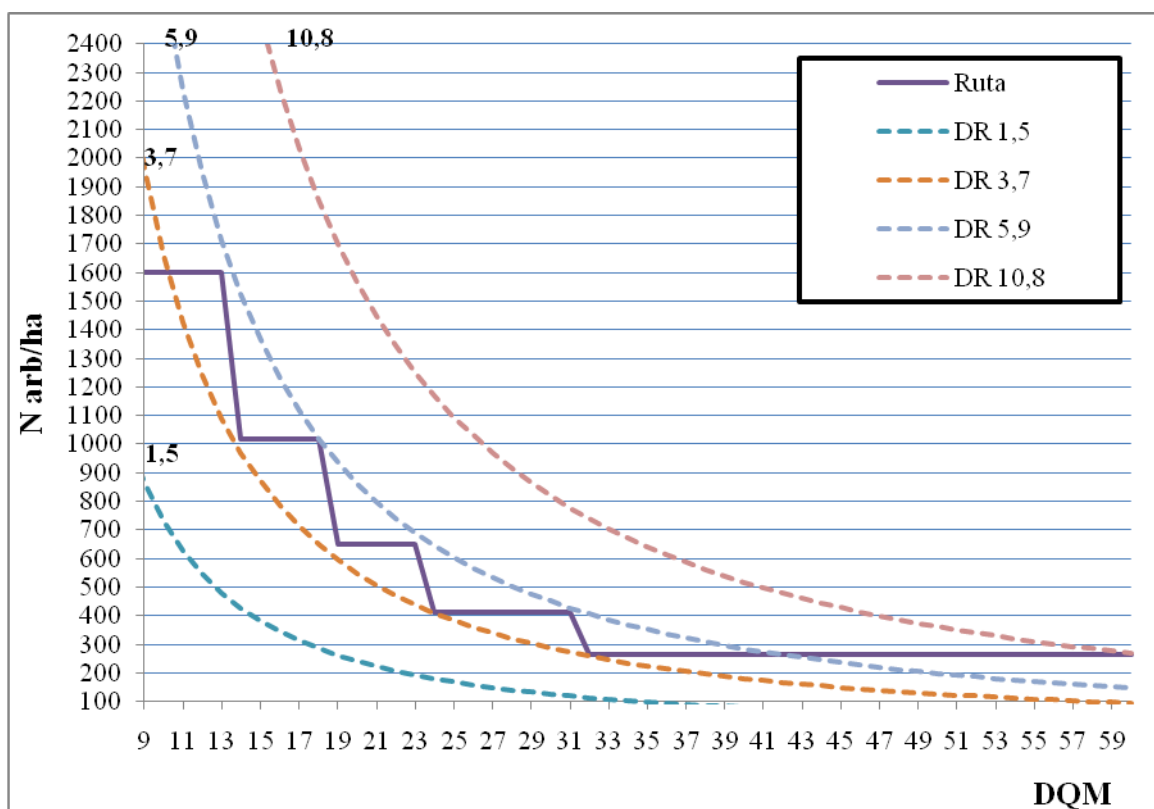


Figura No. 21. Diagrama de densidad con Coeficiente de espaciamento

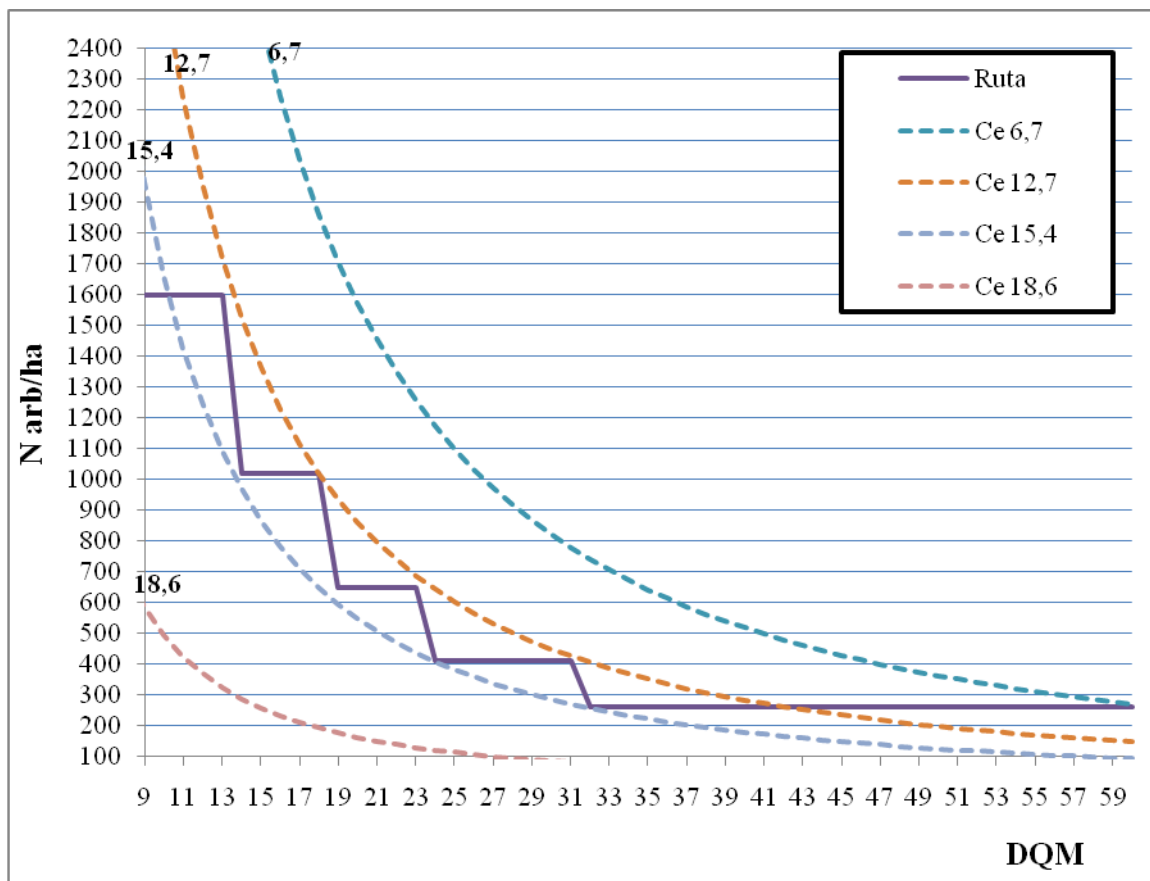
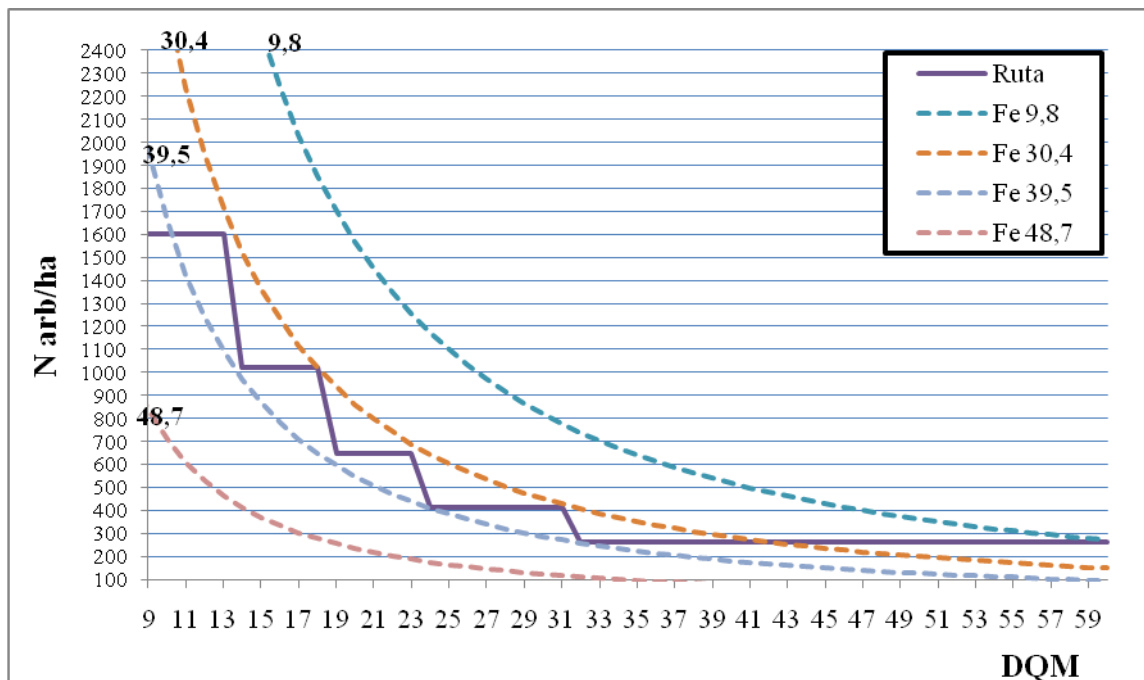


Figura No. 22. Diagrama de densidad con Factor de espaciamento



El diagrama anterior no puede ser considerado para la planificación de calendarios de raleo, debido a la baja correlación observada entre IDR y Fe% (R^2 ajustado = 0,51). La situación de alta competencia de los rodales en mortalidad inminente hace que las alturas medias dominantes sean inferiores a las de rodales en densidades no extremas para las mismas condiciones de sitio.

En las Figuras No. 19, 20 y 21, puede verse el mismo diagrama de densidad que para el IDR, con sus isóneas respectivas delimitando cada zona de competencia. Además se muestra la misma secuencia de raleo.

El hecho de representar en distintos parámetros (IDR, DR, Fe% o Ce), permite una mayor flexibilidad al utilizar los diagramas ya que se puede elegir el índice silvícola a tomar en cuenta.

Los valores de las distintas isóneas graficadas surgen de la correlación entre los distintos índices silvícolas (ver Cuadros No. 20 y 21).

En cuanto a la comparación de la utilidad de los distintos diagramas, se debe notar que tomando en cuenta los datos de IDR como referencia, el otro índice más confiable es DR, ya que presenta una alta correlación con IDR, le sigue el Ce. Por último, no puede considerarse confiable el diagrama obtenido a partir de Fe%.

Tomando en cuenta la fórmula de cálculo del IDR y DR, se observó que estaban matemáticamente relacionados por la fórmula siguiente, lo que explica la alta correlación.

$$DR = \frac{1}{5} \times (N)^{\frac{1}{2 \times p}} \times \frac{AB}{(IDR)^{\frac{1}{2 \times p}}} \quad (12)$$

Siendo:

DR= Densidad relativa

IDR= Índice de densidad de rodal

AB= Área basal

N= Número de árboles por hectárea

p= pendiente de la curva Logaritmo de número de árboles por hectárea vs. Logaritmo de diámetro cuadrático medio.

5. CONCLUSIONES

Se comprobó que existe, para *Pinus pinaster* creciendo en la costa de Rocha, una relación lineal e inversa entre el logaritmo del número de árboles por ha y el logaritmo del diámetro cuadrático medio (DQM), postulada por Reineke (1933) para otras especies. Por lo tanto es factible la utilización del Índice de Densidad de Reineke (IDR) con los parámetros calculados en este trabajo para programar futuras intervenciones en la masa de una manera confiable.

La pendiente de la recta de ajuste obtenida es equivalente a la propuesta por el autor, de esta forma queda comprobada la validez de la fórmula simplificada de cálculo de IDR (fórmula No. 5) para *P. pinaster*.

La Densidad Relativa (DR) tuvo una alta correlación con IDR, en tanto que Coeficiente de espaciamiento (Ce) y Factor de Hart-Becking (Fe%) tuvieron valores más bajos.

Los valores de Factor de espaciamiento obtenidos no reflejan los estados de competencia de los rodales estudiados, puesto que la altura total dominante se ve afectada por la densidad de población extremadamente alta.

Tres de los cuatro diagramas de manejo de densidad de rodal (DMDR) obtenidos, con base en IDR, DR y Ce, son útiles en la elaboración de calendarios de raleo para *Pinus pinaster* en zonas costeras del Departamento de Rocha y sitios similares.

El diagrama de manejo de densidad derivado de Fe% no es confiable. El estudio de poblaciones menos densas permitirá obtener valores de altura total dominante no disminuidos por la competencia.

5.1. RECOMENDACIONES

Se recomienda revisar y completar los diagramas de densidad para la especie, incorporando altura total dominante y volumen de existencias y ampliando el rango de edades y sitios para mejorar el alcance de esta herramienta.

Para esto también, se recomienda la profundización en el estudio del procedimiento del ajuste de IDR para la elaboración de diagramas de manejo de masas forestales, ya que según lo encontrado existen diferencias en los procedimientos utilizados, lo que resulta en cierta variabilidad en la estimación de coeficientes ($IDR_{m\acute{a}x}$, límites superior e inferior y parámetros de las funciones ajustadas) generando incertidumbre en el manejo silvícola de los montes.

6. RESUMEN

Se estudió un conjunto de plantaciones de *Pinus pinaster* en la Reserva Forestal de Cabo Polonio, Rocha, con el propósito de analizar valores base de Índice de Densidad de Rodal de Reineke (IDR) como indicador principal de densidad, Densidad Relativa (DR), Coeficiente de Espaciamento (Ce) y Factor de Espaciamento Hart-Becking (Fe%). Se obtuvo un valor máximo de IDR; se estimaron límites superior (LS) e inferior (LI) de la zona de competencia creciente como 55% y 35% de IDR_{máx}, respectivamente (IDR_{máx} = 1097, LS-IDR = 603 y LI-IDR = 384). Valores mayores a LS definen una zona de mortalidad inminente y valores menores a LI una zona de libre crecimiento. Los respectivos valores de DR fueron 10,8, 5,9 y 3,7; para Ce se obtuvo 6,7, 12,7 y 15,4. Los valores de Fe% resultaron poco confiables debido a la reducción de la altura total dominante (ATD) por alta competencia. Se elaboraron diagramas de manejo de densidad de rodal (DMDR), vinculando gráficamente Número de árboles ha⁻¹ versus diámetro cuadrático medio (DQM), con isolíneas superpuestas de valores máximos, LS y LI de IDR, DR y Ce. Se recomienda revisar y completar los DMDRs para la especie, incorporando ATD y volumen de existencias, y ampliar el rango de edades y sitios para mejorar su alcance. Se debería profundizar en el procedimiento de ajuste de IDR para precisar la estimación de IDR_{máx}, LS y LI y los parámetros de las funciones ajustadas.

Palabras clave: IDR Reineke; *Pinus pinaster*; Pino marítimo; Diámetro Cuadrático Medio (DQM); Diagramas de manejo de densidad (DMDR); Coeficiente de Espaciamento (Ce); Factor de Espaciamento, Índice de Hart-Becking (Fe%); Densidad Relativa (DR); Raleo; Silvicultura; Densidad; Polonio; MGAP.

7. SUMMARY

A set of *Pinus pinaster* plantations, located in the Forest Reserve of Cabo Polonio, Rocha, was studied for the purpose of analyzing Reineke Stand Density Index base values (SDI) as the primary indicator of density, Relative Density (RD), Spacing Coefficient (SC) and Hart-Becking Index (S%). A maximum value of SDI was obtained; upper and lower limits (UL and LL) were estimated from the area of increasing competition as 55% and 35% of maximum SDI, respectively (SDI_{max}=1097, UL-SDI=603 and LL-SDI=384). Values higher than UL define a zone of imminent mortality and values lower than LL a free grow zone. The respective values of RD were 10,8, 5,9 and 3,7; for SC was obtained 6,7, 12,7 and 15,4. The values of S% observed were unreliable due to the reduction of the total dominant height (TDH) because of high competition. Stand Density Management Diagrams (SDMD) were developed, linking graphically Number of trees ha⁻¹ versus quadratic mean diameter (QMD), overlaid with isolines of maximum values, UL and LL of SDI, RD and SC. Checking and completion of SDMDs for the species is recommended, incorporating TDH and volume of stock values, and expanding range of ages and places to improve outreach. The adjustment procedure of SDI should be further revised to refine estimates of SDI_{max}, UL and LL; and the parameters of the functions adjusted.

Keywords: SDI; Reineke; *Pinus pinaster*; Maritime pine; Quadratic Mean Diameter (QMD), Stand Density Management Diagrams (SDMD); Spacing Coefficient (SC); Hart Becking Index (HBI%); Relative Density (RD); Thinning; Silviculture; Density; Polonio; MGAP.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ALÍA, R.; MARTIN, S. 2003. EUFORGEN Technical guidelines for genetic conservation and use for Maritime pine (*Pinus pinaster*). (en línea). Roma, Italia, International Plant Genetic Resources Institute. 6 p. Consultado 5 mar. 2012. Disponible en http://www.bioversityinternational.org/fileadmin/bioversity/publications/pdfs/857_Technical_guidelines_for_genetic_conservation_and_use_for_maritime_pine_Pinus_pinaster.pdf?cache=1336258589
2. ARCHIBLAD, D.; BOWLING, C. 1995. Jack pine density management diagram for Boreal Ontario.(en línea). Ontario, Ministry of Natural Resources. Northeast Science and Technbology. 20 p. Consultado 27 feb. 2012. Disponible en http://www.mnr.gov.on.ca/en/Business/NESI/2ColumnSubPage/STEL02_165342.html
3. BARRIO, M.; ÁLVAREZ, J. 2009. Diagramas de manejo de la densidad; una herramienta para la evaluación de regímenes silvícolas. Lugo, España, Escuela Politécnica Superior. Departamento de Ingeniería Agroforestal.5 p.
4. BECQUEY, J.; RIOU-NIVERT, P. 1987. L'existence de "zones de stabilité" des peuplements consequences sur la gestion. *Revue Forestière Française*. 39(4): 323-334.
5. BONILLA, J.; BOTTAZZI, J.1964. Primer contribución dasométrica. Evaluación de los rendimientos del Pino marítimo en la zona de Carrasco. *Boletín Departamento Forestal (Montevideo)*. no. 9. 20 p.
6. BOUILLARD, M. 1972. El crecimiento de *Pinus radiata*, *P. pinaster* y *P. halepensis* en las dunas de San Clemente del Tuyú y Mar de Ajó, Provincia de Buenos Aires. *Revista Forestal Argentina*. 16 (3-4): 97- 101.
7. CABRELLI, D.; REBOTTARO, R.; REZZANO, C. 1993. Evaluación y análisis del manejo de la densidad en plantaciones de *Pinus taeda*, por medio del índice de densidad del rodal. *Revista de la Facultad de Agronomía (Buenos Aires)*. 14(1): 17-27.
8. CASTEDO, F.; ÁLVAREZ, P.; QUINTAIROS, R.;BARRIO, M. 2009. Inclusión de riesgos abióticos en diagramas de manejo de la densidad. Un caso de estudio en masas de *Pinus pinaster* Ait. *In: Congreso Forestal Español (5º., 2009, Avila, España)*. Montes y sociedad; saber y que hacer. Avila, España, Sociedad Española de Ciencias Forestales. p. irr.

Consultado 27 feb. 2012.

Disponible en

<http://www.congresoforestal.es/fichero.php?t=41725&i=213&m=2185>

9. CHAUCHARD, L; ANDENMATTEN, E.; LETOURNEAU, F. 2013. Modelización del crecimiento y la producción de los rodales a través de índices de densidad. *In*: Blanco, J. A. ed. Aplicaciones de modelos ecológicos a la gestión de recursos naturales. Barcelona, OmniaSciencie. pp. 109 -124.
10. COZZO, D. 1973. Segunda noticia de una plantación de *Pinus pinaster* en la provincia de Santa Fe. *Revista Forestal Argentina*. 17 (2): 62 - 63.
11. _____. 1995. Silvicultura de plantaciones maderables. Buenos Aires, Argentina, Orientación Gráfica Editora.905 p.
12. CRECENTE, F.; FERREIRO-ABELAIRAS, H.; BARRIO, M.; ROJO, A. 2009. Ensayo de aplicación de claras de selección en *Pinus pinaster* Ait. en Galicia. Lugo, España, Universidade de Santiago de Compostela. Departamento de Enxeñería Agroforestal. 7 p.
13. CUCCHI, V.; BERT, D. 2003. Wind-firmness in *Pinus pinaster* Ait. Stands in Southwest France; influence of stand density, fertilisation and breeding in two experimental stands damaged during the 1999 storm. *Annals of Forest Science*. 60 (3): 209-226.
14. CURTIS, R. O. 1982. A simple index of stand density for Douglas-fir. *Forest Science*. 28 (1): 92 -94.
15. _____. 2010. Effect of diameter limits and stand structure on relative density indices; a case study. (en línea). *Western Journal of Applied Forestry*. 25 (4):169-175.
Consultado 24 abr. 2013.
Disponible en
http://www.fs.fed.us/pnw/pubs/journals/pnw_2010_curtis001.pdf
16. DANIEL, T.; HELMS, J.; BACKER, F. 1982. Principios de silvicultura. 2ª ed. México, McGraw Hill. 492 p.
17. DAY, J. R.; GONDA, H. E.1987. The crop planning method to improve the yield of slash pine plantations in Misiones. *In*: Simposio sobre Silvicultura y Mejoramiento Genético de Especies Forestales (1978, Buenos Aires,

- Argentina). Trabajos presentados. Buenos Aires, Editorial Stella, R. v.4, pp. 116-133.
18. DEAN, T.; BALDWIN, C. 1993. Using a density management diagram to develop thinning schedules for Loblolly pine plantations. New Orleans, Luisiana, United States Department of Agriculture. Forest Service. 7 p.
19. DE LEÓN, G.; GARCÍA, E.; GRAÑA, A.; OLIVERA, J.; SCIANDRO, J.; CALDEVILLA, G.; FABIANO, G.; NORBIS, W.; PONCE DE LEÓN, A.; VENTURINO, L.; SENCIÓN, G.; GARCÍA, L.; D'AMBROSIO, A.; CATALURDA, C.; HEIDE, D.; LIGRONE, P.; PROTHERY, E.; MARTÍNEZ, A.; MÉROLA, G.; RODRÍGUEZ, A.; SÁNCHEZ, A. 2006. Propuesta de ingreso del área protegida marino - costera de Cabo Polonio al Sistema Nacional de Áreas Protegidas. (en línea). s.n.t. 27 p. Consultado 15 may. 2012. Disponible en http://www.mvotma.gub.uy/documentos/doc_download/999265-propuesta-de-ingreso-del-area-protegida-del-cabo-polonio.html
20. DELFINO, L.; MASCIADRI, S. 2005. Relevamiento florístico en el Cabo Polonio, Rocha, Uruguay. IHERINGIA. 60 (2): 119-128.
21. DEL PESO, C.; BRAVO, F. 2004. Caracterización selvícola de las masas forestales de *Pinus pinaster* subsp. *Mesogeensis* del sistema ibérico meridional. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales. 18: 179 -184.
22. DEL RÍO, M.; LÓPEZ, E.; MONTERO, G. 2006. Manual de gestión para masas procedentes de repoblación de *Pinus pinaster* Ait., *Pinus sylvestris* L. y *Pinus nigra* Arn. (en línea). Castilla y León, España, Junta de Castilla y León. Consejería del Medio Ambiente. 104 p. Consultado 28 feb. 2013.
Disponible en http://www.jcyl.es/web/jcyl/binarios/286/215/01-GESTION%20FOREST_CORREGIDO2.zip?blobheader=application%2Fzip&blobheadername1=Cache-Control&blobheadername2=Expires&blobheadername3=Site&blobheadervalue1=no-store%2Cno-cache%2Cmust-revalidate&blobheadervalue2=0&blobheadervalue3=JCYL_MedioAmbiente&blobnocache=true
23. DREW, T.; FLEWELLING, J. 1979. Stand density management. An alternative approach and its application for Douglas fir plantations. Forest Science. 25 (3): 518-532

24. DURÁN, A. 1991. Los suelos del Uruguay. 2ª ed. Montevideo, Hemisferio Sur. 398 p.
25. FROST, I.; MCKENZIE, G. 1976. Radiata Pine, a basis for selection of trees for pruning and thinning. 4th. ed. Wellington, New Zealand Forest Service. 23 p.
26. GADOW, K.; SÁNCHEZ, S.; ÁLVAREZ, J. 2007. Estructura y crecimiento del bosque. s.n.t. 280 p.
27. GALLO, L. 1998. Comparación práctica de diferentes índices de densidad. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 23 p.
28. GARTLAND, H.; SERRA, O. 1967. Informaciones sobre las plantaciones forestales en las dunas marítimas de Miramar Provincia de Buenos Aires. Revista Forestal Argentina. 11 (1): 5 - 9.
29. GOOGLE. 2009. Foto satelital del paraje de Cabo Polonio (Rocha). (en línea). s.l. Consultado 14 feb. 2014. Disponible en <http://earth.google.com>
30. HAWLEY, R.; SMITH, D. 1982. Silvicultura práctica. Barcelona, Omega. 543 p.
31. LANGSAETER, A. 1941 Om tynning i enaldret gran – og furuskog. Oslo, Noruega, Grondahl and Sons. 214 p.
32. LONG, J.; SMITH, F. 1984. Relation between size and density in developing stands: a description and possible mechanisms. Forest Ecology and Management. 7: 191-206.
33. _____; SHAW, J. D. 2012. A density management diagram for even-aged sierra nevada mixed-conifer stands. Western Journal of Applied Forestry. 27 (4): 187-196.
34. LÓPEZ, C. 2008. Estudio de la espesura de las masas forestales. (en línea). Madrid, Universidad Politécnica de Madrid. 40 p. Consultado 13 feb. 2013. Disponible en <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/dasometria/contenidos-ocw-2008/estereometria/Tema20.pdf/view>
35. NEWTON, P. 1997. Stand density management diagrams; review of their development and utility in stand-level management planning. Forest Ecology and Management. 98: 251-265.

36. OROZCO, L; BRUNER, C.2002. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Turrialba, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 267 p. (Serie Técnica. Manual técnico no. 50)
37. ORTIZ, E. 1989. Utilización del índice de densidad del rodal (IDR) en el manejo de la densidad de plantaciones forestales. In: Reunión IUFRO Manejo y Aprovechamiento de Plantaciones Forestales con Especies de Uso Múltiple (1989, Guatemala). Actas. Turrialba, CR, CATIE. pp. 329-350.
38. PINTO, I. 2004. Raw material characteristics of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) and their influence on simulated sawing yield. Dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology. Helsinki, Finland. University of Technology. 52 p.
39. REBOTTARO, S.; CABRELLI, D.; HERRERO, G. 2007. Diferencias en el manejo de la densidad entre *Pinus caribaea* var. *Caribaea* y *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. (en línea). In: Jornadas Forestales de Entre Ríos (22as., 2007, Concordia). Memorias. Buenos Aires, INTA. p. irr. Consultado 3 ene. 2012. Disponible en
<http://anterior.inta.gov.ar/concordia/info/Forestales/contenido/pdf/2007/posters07/333.14.REBOTTARO.pdf>
40. REID, R. 2009. Growing high-quality sawlogs. In: Nuberg, I.; George, B.; Reid, R. eds. Agroforestry for natural resource management. Collingwood, Victoria, Australia, CSIRO. pp. 161 – 182.
41. REINEKE, L. 1933. Perfecting a stand density index for even aged forest. *Journal of Agricultural Research*. 46 (7): 627-638.
42. REMACHA, A. 1987. Ficha tecnológica; la madera del Pino Gallego. (en línea). *Revista de la Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera (AITIM)*. 128: s.p. Consultado 3 ene. 2012. Disponible en
http://www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo_1335_17206.pdf
43. RODRÍGUEZ, R.; ÁLVAREZ, J.; CELA, M.; MANSILLA, P.; VEGA, P.; GONZÁLEZ, M.; RUÍZ, P.; VEGA, G. 1997. Manual técnico de silvicultura del Pino *Pinaster*. (en línea). Santiago de Compostela, *Universidad de Santiago de Compostela*. Escuela Politécnica Superior. s.p. Consultado 18 nov. 2011. Disponible en
<http://www.agrobyte.com/publicaciones/pino/indice.html>

44. SALES, J.; FONSECA, T. 2003. The allometric model in the stand density management of *Pinus pinaster* Ait. in Portugal. *Annals of Forest Science*. 61: 807-814.
45. SANZ, F.; LATOUR, S.; NEVES, M.; BASTET, E.; PISCHEDDA, D.; PIÑEIRO, G.; GAUTHIER, T.; LESBATS, J.; PLANTIER, C.; MARQUES, A.; LANVIN, J.; SANTOS, J.; TOUZA, M.; PEDRAS, F.; PARROT, J.; REULING, D.; FARÍA, C. 2006. Aplicaciones industriales de la madera de pino pinaster. Ourense, España, Centro de Innovación y Servicios Tecnológicos de la Madera de Galicia. 256 p.
46. SHAW, J.; LONG, J. 2010. Consistent definition and application of Reineke's stand density index in silviculture and stand projection. (en línea). In: Nacional Silvicultura Workshop (2009, Boice, ID). Proceedings. Fort Collins, CO, USDA Forest Service Proceedings. Rocky Mountain Research Station. pp. 199-209. Consultado 9 abr. 2013.
Disponible en
http://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_p061/rmrs_p061_199_209.pdf
47. SHEPHERD, K.R. 1986. Plantation silviculture. Dordrecht, The Netherlands, Martinus Nijhoff. pp. 236-262.
48. SORRENTINO, A. 1996. Manual para diseño y ejecución de inventarios forestales. Montevideo, Hemisferio Sur. 350 p.
49. STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. 1985. Bioestadística; principios y procedimientos. Bogotá, McGraw-Hill. 622 p.
50. TUSET, R.; MANTERO, C.; DE LEÓN, L.; DURÁN, F.; BURGUEÑO, J.; BONILLA, J.; SCHAICH, G.; TAROCO, N.; VILLEGAS, C.; BAILE, J.; BONOMI, H.; MASSONE, M.; MONTALDO, R.; RAYMUNDO, D. 1996. Investigaciones sobre la madera de pino marítimo (*Pinus Pinaster*) cultivado en Uruguay. Montevideo, Facultad de Agronomía. 64 p.
51. URUGUAY. MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL. DIRECCIÓN NACIONAL DE METEOROLOGÍA. s.f. Mapas climáticos. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado feb. 2008. Disponible en <http://meteorologia.gub.uy/index.php/mapas-climaticos>
52. _____. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. 1988. Decreto 849/88 de 14 de diciembre de 1988. (en línea). Montevideo. 5 p. Consultado oct. 2012.
Disponible en
http://gp.gub.uy/sites/default/files/normativa/decreto849-88_201.pdf

53. VALBUENA, P.; DEL PESO, C.; BRAVO, F. 2008. Stand density management diagrams for two mediterranean pine species in eastern Spain. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*. 17 (2): 97-104.
54. VENTURINO, A. 2004. Selección de *Pinus pinaster* Ait. en el parque Franklin Delano Roosevelt, Canelones. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 108 p.

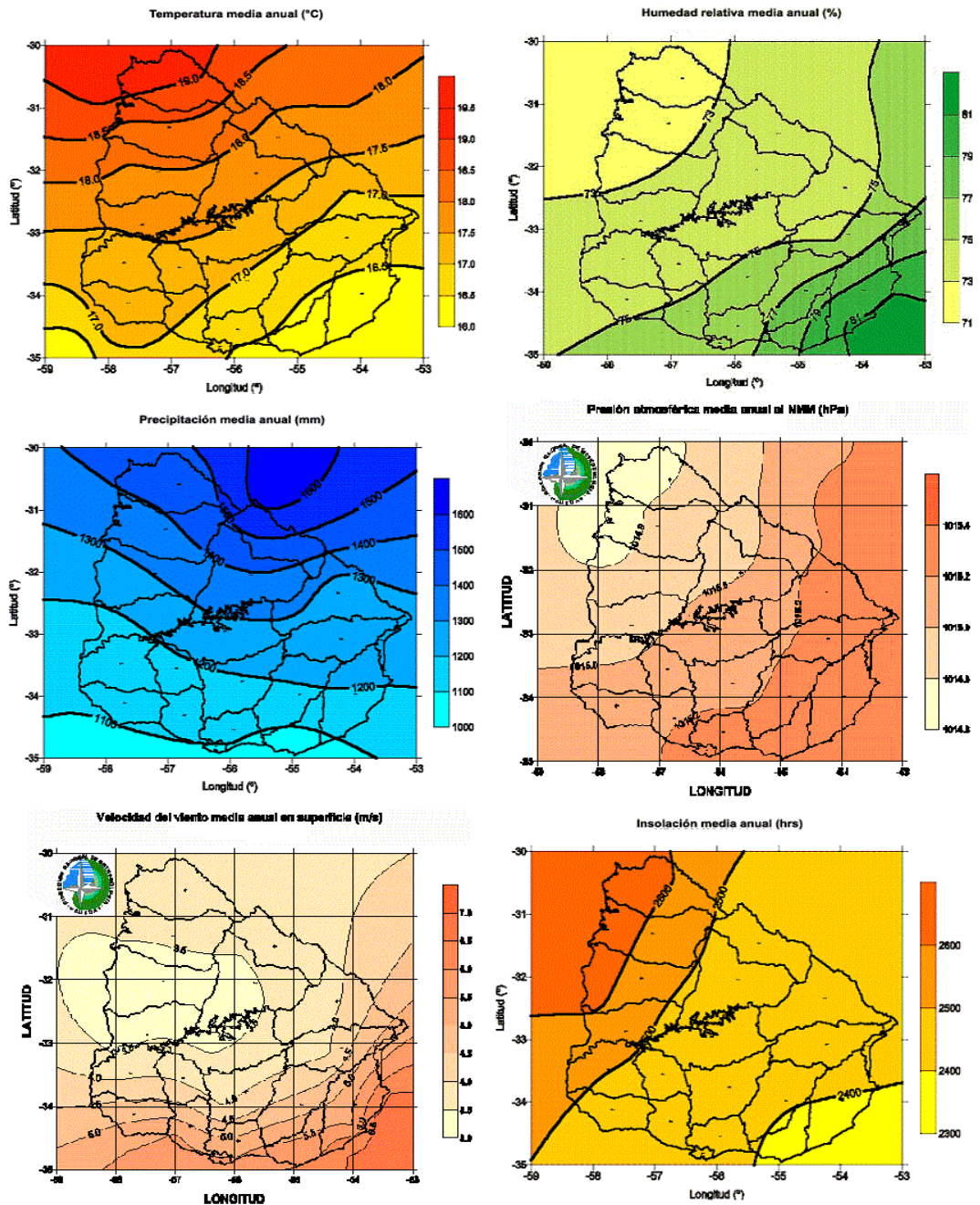
9. ANEXOS**ANEXO I. RECURSOS NATURALES**

Suelos

Cuadro No. 1. Características principales de los grupos CONEAT existentes en el área del predio

Grupo	Descripción
07.2.	Corresponde a arenas no fijadas con vegetación o con vegetación psamófila poco densa. Caracterizadas en la carta de aptitud y uso de la tierra como tierras no cultivables, sin aptitud agropecuaria ni forestal. Tierras de reserva natural de flora y fauna.
07.1.	Se encuentra en Rocha, Maldonado y en los cordones arenosos asociados a la costa marítima y platense de Canelones, Montevideo, San José y Colonia. Comprende aéreas litorales marítimas o continentales recubiertas con espesores variables de arenas fijadas por vegetación psamófila. Estas arenas y los Arenosoles Ócricos (dunas arenosas) asociados son de muy baja fertilidad y excesivamente drenados. En las proximidades de la costa existe vegetación psamófila mientras que en el interior, normalmente existe vegetación de pradera estival, de tapiz ordinario y algo abierto. Existen plantaciones forestales mayormente de Pino marítimo y el uso pastoril es muy limitado. Este grupo además de integrar la unidad Angostura, se encuentra también en la unidad Balneario Jaureguiberry en la carta a escala 1:1000.000 (D.S.F).
9.1	Lomadas costeras que se extienden en forma discontinua y paralela a la costa desde la localidad del Chuy hasta Maldonado. El material madre está constituido por sedimentos areno arcillosos de color pardo. Relieve suavemente ondulado con lomadas aplanadas y pendientes de 2 a 3% principalmente. Los suelos predominantes son planosoles Dístricos Ócricos en los interfluvios aplanados y Argisoles Dístricos Ócricos en las laderas. Los horizontes superiores son de textura franco arenosas color pardo grisáceo, fertilidad baja y drenaje imperfecto. La vegetación es de pradera estival y el uso, en general, es pastoril.
3.30	Comprende llanuras bajas, en la desembocadura de los ríos y arroyos que permanecen inundados en la mayor parte del año, también bañados en los cuales descende el nivel del agua en el verano. En general son suelos profundos pobre a muy pobremente drenados. En el caso de las llanuras bajas, predominan las texturas arenosas y se clasifican como Gleysoles Háplicos Melánicos/Ócricos arenosos. La vegetación presenta comunidades hidrófilas y halófilas. Los usos principales son para pastoreo y cultivo de arroz. Por otro lado en los bañados los suelos presentan horizontes turbosos y texturas limo arcillosas, se clasifican como Gleysoles Háplicos Melánicos/Hísticos. La vegetación dominante se compone de comunidades hidrófilas.

Figura No. 1. Mapas climáticos del país para el período 1961 – 1990 obtenidos por la Dirección Nacional de Meteorología



Cuadro No. 2. Registro histórico de datos meteorológicos de Rocha hasta el año 1990

	Inicio	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Temp. med. [°C]	1961	21,7	21,5	19,9	16,6	13,7	11,1	10,9	11,4	12,7	15,1	17,6	20,2	16
Temp. máx. [°C]	1961	38,8	39	39	33	30,1	28,8	30,6	30,6	30,6	31,4	38,4	39,5	39,5
Temp. mín.[°C]	1961	5,2	5	4,8	2	-2,8	-5,8	-4,6	-2,6	-3,4	-0,7	1,2	3,8	-5,8
Temp. máx. media[°C]	1961	27,9	27,3	25,5	22,4	19,4	15,9	15,8	16,6	17,8	20,5	23,2	26,2	21,5
Temp. mín. media [°C]	1961	16,1	16	14,5	11,3	8,4	6,7	6,4	6,5	7,7	9,9	11,8	14,4	10,8
Humedad relativa [%]	1961	75	77	80	83	85	85	85	83	83	82	78	76	81
Tiempo de insolación directa acum. por mes [hrs]	1981	267,3	201,3	227,9	189,2	169,3	134,2	137,6	160,3	175,1	214,6	232,5	268,8	2378,1
Pres. vap. [hPa]	1961	20,5	20,8	19,1	16,2	13,9	11,8	11,6	11,6	12,6	14,5	16,4	18,5	15,6
Vel. del viento horizontal [m/s]	1961	4	3,9	3,2	2,9	2,6	3,2	2,9	3,1	3,9	4	4,1	4,1	3,5
Precip. acum. por mes [mm]	1961	99	107	90	72	89	99	107	111	106	98	83	62	1122
Media de días con precip. mayor a 1mm	1961	6	7	7	6	6	7	7	7	7	7	7	5	79

Fuente: URUGUAY. MDN. DNM (s.f.).

Vegetación

Cuadro No. 3. Especies vegetales presentes en el área

Sistema dunar	Bañados	Monte nativo	Bosques implantados
<p>Dunas móviles: <i>Panicum racemosum</i> <i>Senecio crassiflorus</i> <i>Androtrichum trigynum</i> <i>Calystegia soldanella</i> <i>Spartina ciliata</i> <i>Calycera Crassifolia</i></p> <p>Dunas fijas o semifijas: <i>Schyzachirium microstachyum</i> <i>(Aristida Pallens</i> <i>Baccharis spicata</i></p> <p>Hondonadas húmedas: <i>Scirpus californicus</i> <i>S. Giganteus</i> <i>Hydrocotyle bonariensis</i> <i>Panicum gounii</i> <i>Stenotaphrum secundatum</i></p>	<p><i>Cortaderia selloana</i> <i>Panicum prionitis</i> <i>Erianthus angustifolius</i> <i>Echinodorus longiscapus</i> <i>Myriophyllum aquaticum</i> <i>Solanum laucophyllum</i> <i>Distichlis spicata</i> <i>Paspalum vaginatum</i></p>	<p>Porte arbóreo: <i>Allophyllus edulis</i> <i>Blepharocalyx tweediei</i> <i>Celtis Spinosa</i> <i>Celtis iguanea</i> <i>Fagara hiemalis</i> <i>Litthaea brasiliensis</i> <i>Phytolacca dioica</i> <i>Raphanea laetevirens</i> <i>Schinus longifolius</i> <i>Scutia buxifolia</i></p> <p>Porte arbustivo: <i>Berberis laurina</i> <i>Colletia paradoxa</i> <i>Daphnopsis racemosa</i> <i>Dodonaea viscosa</i> <i>Iodina rhombifolia</i> <i>Maytenus ilicifolia</i> <i>Solanum mauritianum</i></p> <p>Otras: <i>Cereus sp.</i> <i>Opuntia sp.</i> <i>Polypodium sp.</i> <i>Tillandsia sp.</i> <i>Adiantum sp.</i></p>	<p><i>Pinus pinaster</i> <i>Pinus elliotti</i> <i>Pinus taeda</i> <i>Pinus radiata</i></p> <p><i>Eucalyptus grandis</i> <i>E. globulus</i></p> <p><i>Acacia longifolia</i></p>

Fuente: elaborado a partir de descripción de De León et al. (2006)

En cuanto a la vegetación de pradera, Delfino y Maschiardi (2005), en el casco de la península, ambiente similar a pradera, describen la vegetación como de bajo porte, donde predomina el tapiz denso de *Cynodon dactylon*, acompañado de otras especies como *Anthemis mixta*, *Ambrosia tenuifolia*, *Eclipta elliptica*, *Glandularia selloi*, *Medicago sativa* y *M. polymorpha*.

ANEXO II METODOLOGÍA

INVENTARIO

Cuadro No. 4. Planilla de levantamiento de datos de inventario

Monte	Parcela			X = 1, // 0 = 0.5	FAB:	Fecha:	
No.	CAP	N (1/0.5) X = 1, 0 = 0.5	Altura	Observaciones	Clase DAP (cm)	Clase CAP (cm)	Marca de clase
1					5 - 10	15.71 - 31.42	23,56
2					10 - 15	31.42 - 47.12	39,27
3					15 - 20	47.12 - 62.83	54,98
4					20 - 25	62.83 - 78.54	70,69
5					25 - 30	78.54 - 94.25	86,39
6					30 - 35	94.25 - 109.96	102,1
7					35 - 40	109.96 - 125.66	117,81
8					40 - 45	125.66 - 141.37	133,52
9					45 - 50	141.37 - 157.08	149,23
10							
11							
12							
....							
30							

Para calcular el área basal por hectárea utilizamos las siguientes fórmulas:

$$\mathbf{FAB = 2500 \times K^2}$$

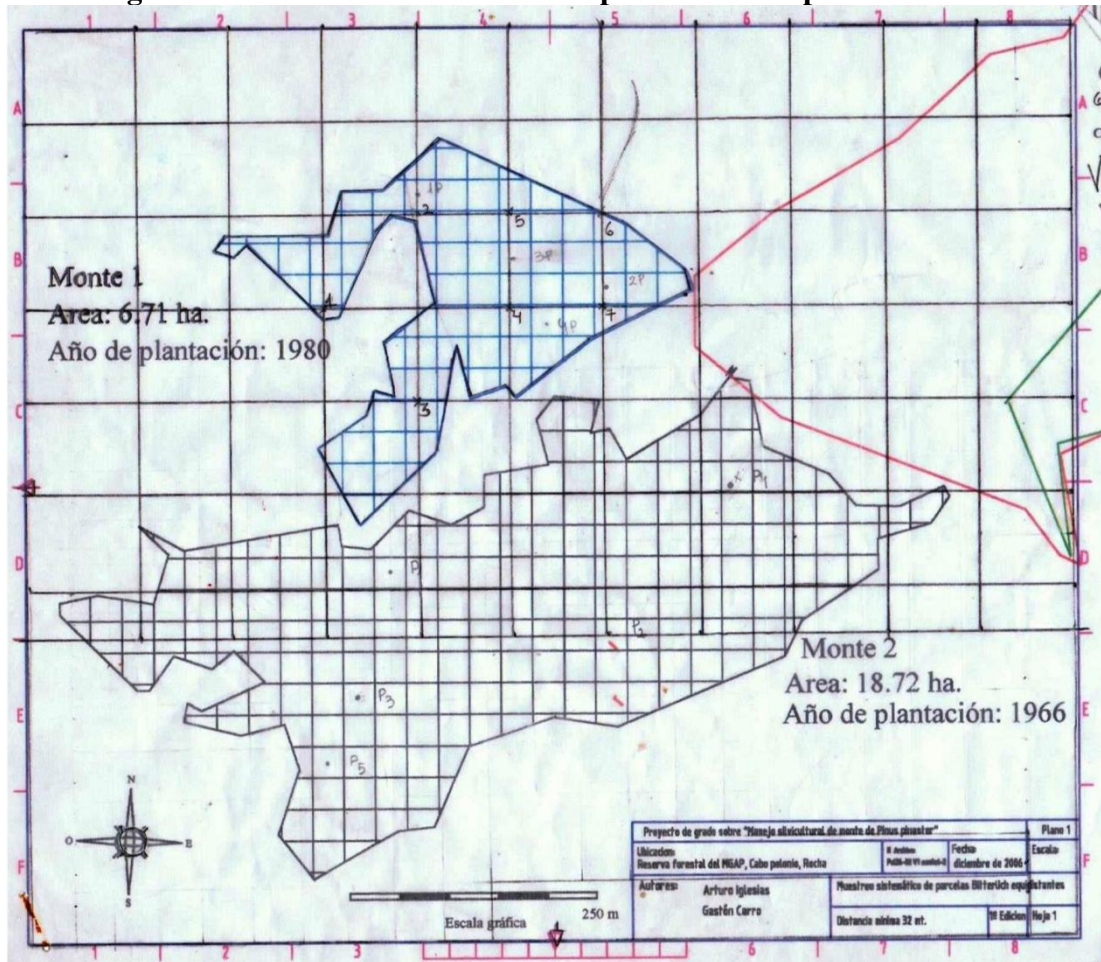
$$\mathbf{AB = N \times FAB}$$

Dónde:

- ◆ AB = Área basal (m³/ ha)
- ◆ N = Número de árboles contados por giro
- ◆ K = Constante instrumental (d/L)
- ◆ d = Ancho de la mirilla en metros
- ◆ L = Largo de la barra en metros

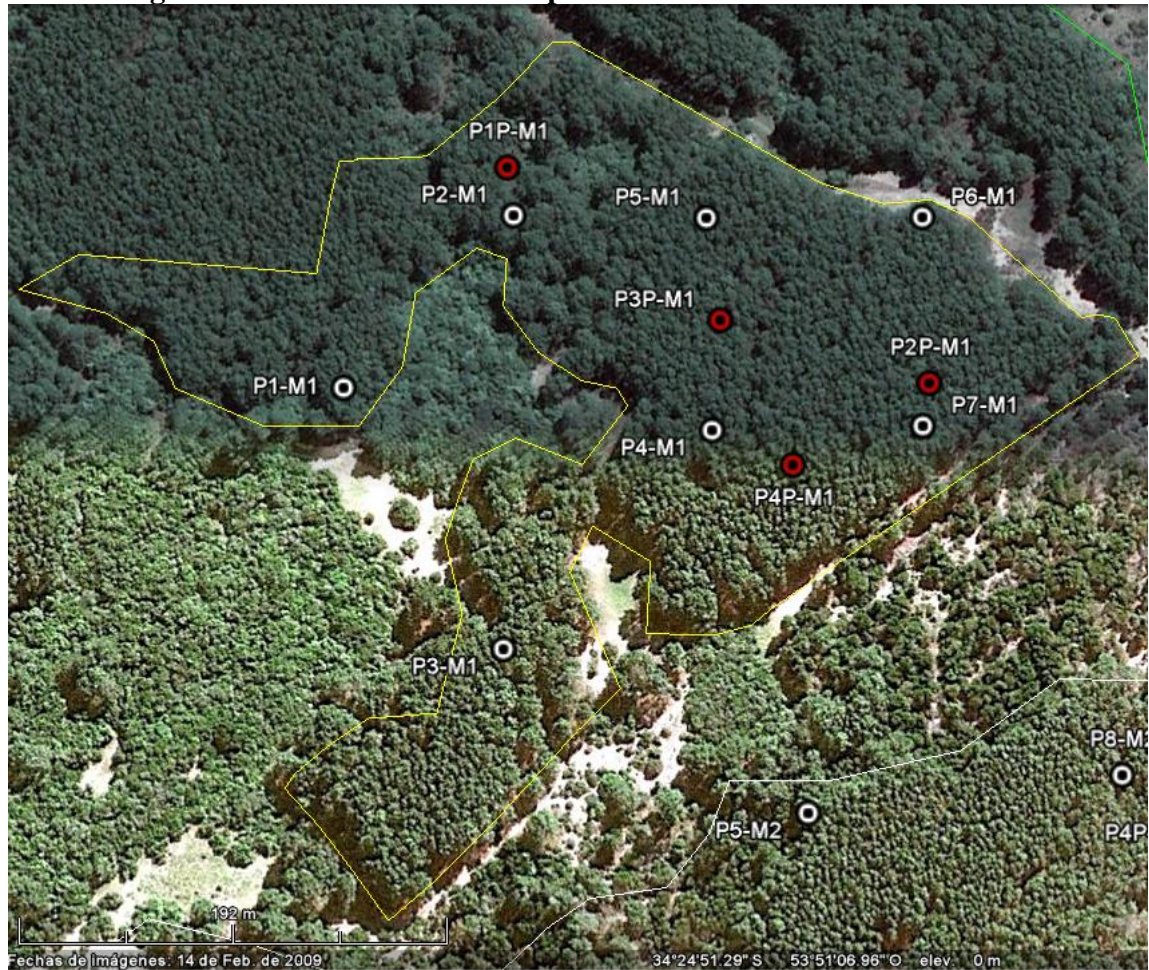
MAPAS DE UBICACIÓN DE LAS PARCELAS

Figura No. 2. Plano de ubicación de parcelas a campo del monte 1



Fuente: elaborado a partir de los tracks obtenidos del GPS GARMIN utilizado escalado en Autocad 2006.

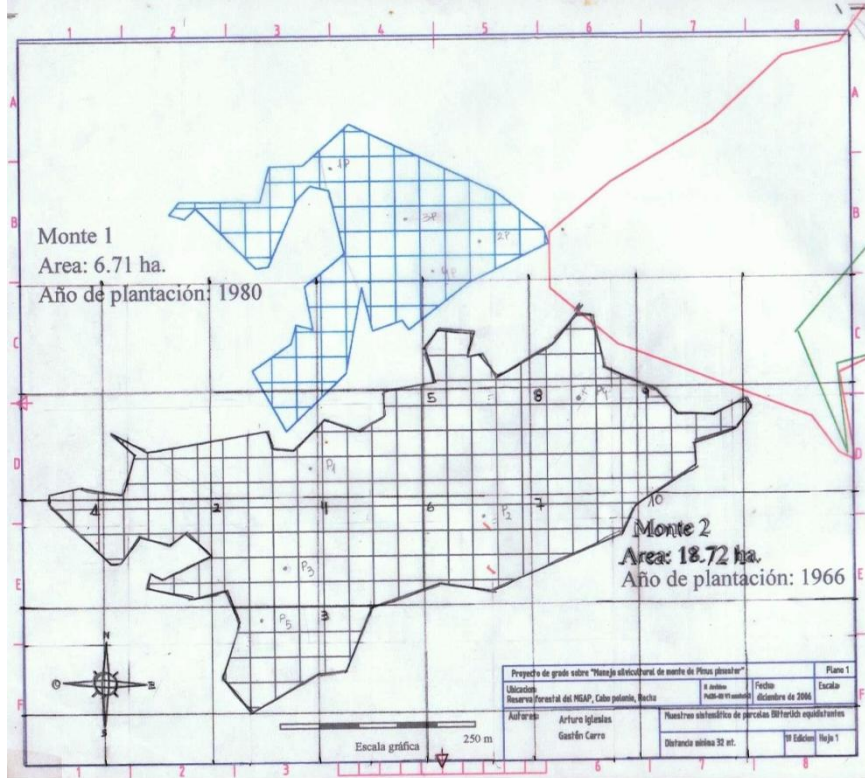
Figura No. 3. Ubicación de las parcelas en el monte 1



*Monte 1 enmarcado en amarillo. La nomenclatura de las parcelas es por ejemplo: P6-M1 corresponde a parcela 6 del monte 1. Puntos rojos corresponden a parcelas de pre inventario y los blancos a las del inventario final.

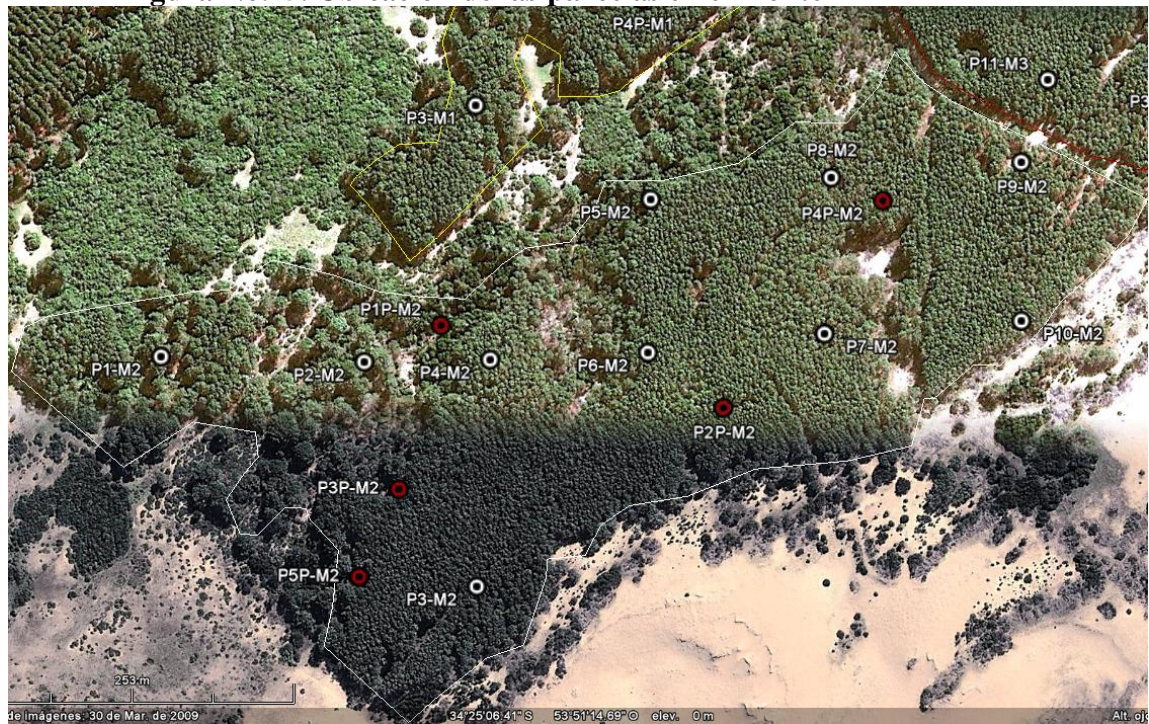
Fuente: ubicación aproximada de las parcelas sobre foto satelital obtenida de Google Earth.

Figura No. 4. Plano de ubicación de parcelas a campo del monte 2



Fuente: elaborado a partir de los tracks obtenidos del GPS GARMIN utilizado escalado en Autocad 2006.

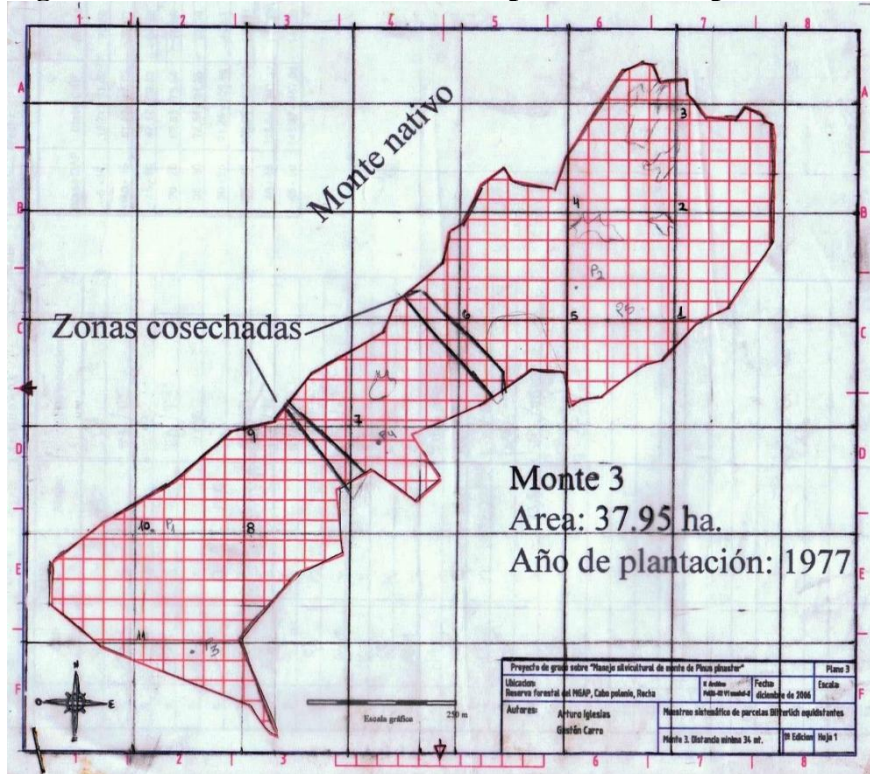
Figura No. 5. Ubicación de las parcelas en el monte 2



*Monte 2 enmarcado en blanco. La nomenclatura de las parcelas es por ejemplo: P6-M2 corresponde a parcela 6 del monte 2. Puntos rojos corresponden a parcelas de pre inventario y los blancos a las del inventario final.

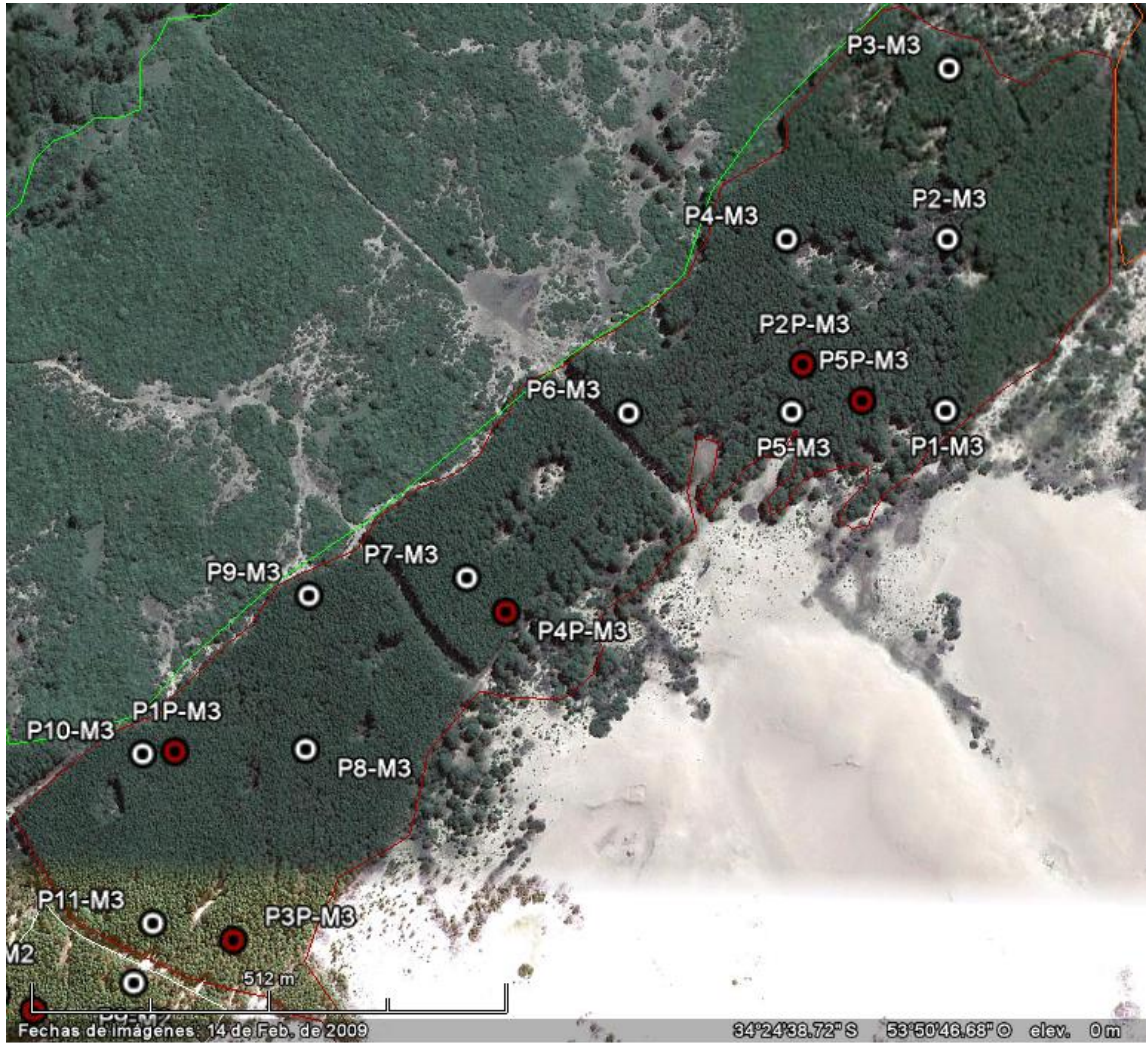
Fuente: ubicación aproximada de las parcelas sobre foto satelital obtenida de Google

Figura No. 6. Plano de ubicación de parcelas a campo del monte 3



Fuente: elaborado a partir de los tracks obtenidos del GPS GARMIN utilizado escalado en Autocad 2006.

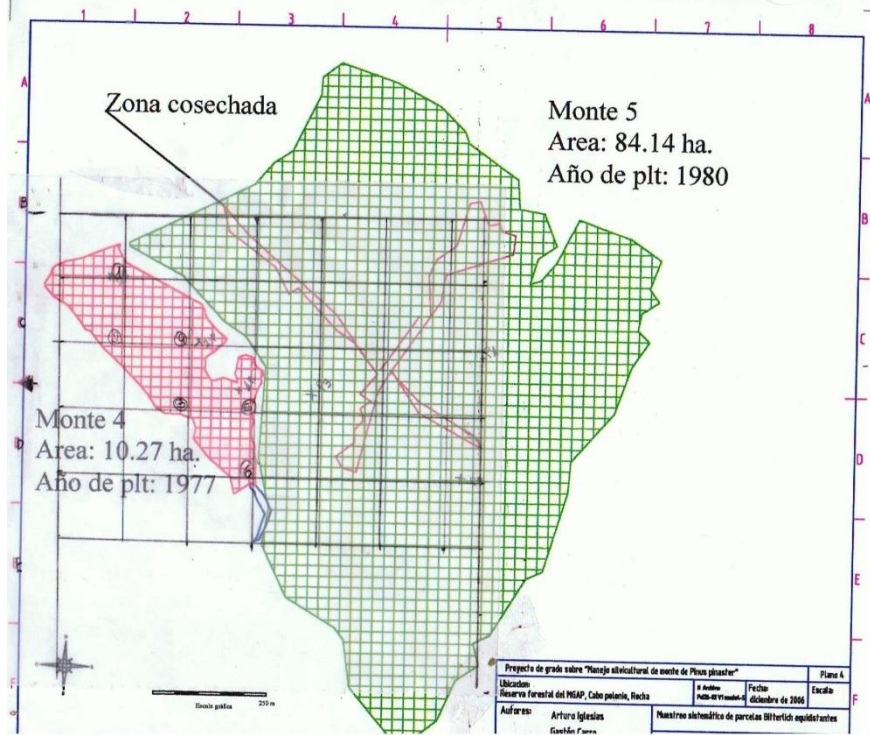
Figura No. 7. Ubicación de las parcelas en el monte 3



*Monte 3 enmarcado en rojo. La nomenclatura de las parcelas es por ejemplo: P8-M3 corresponde a parcela 8 del monte 3. Puntos rojos corresponden a parcelas de pre inventario y los blancos a las del inventario final.

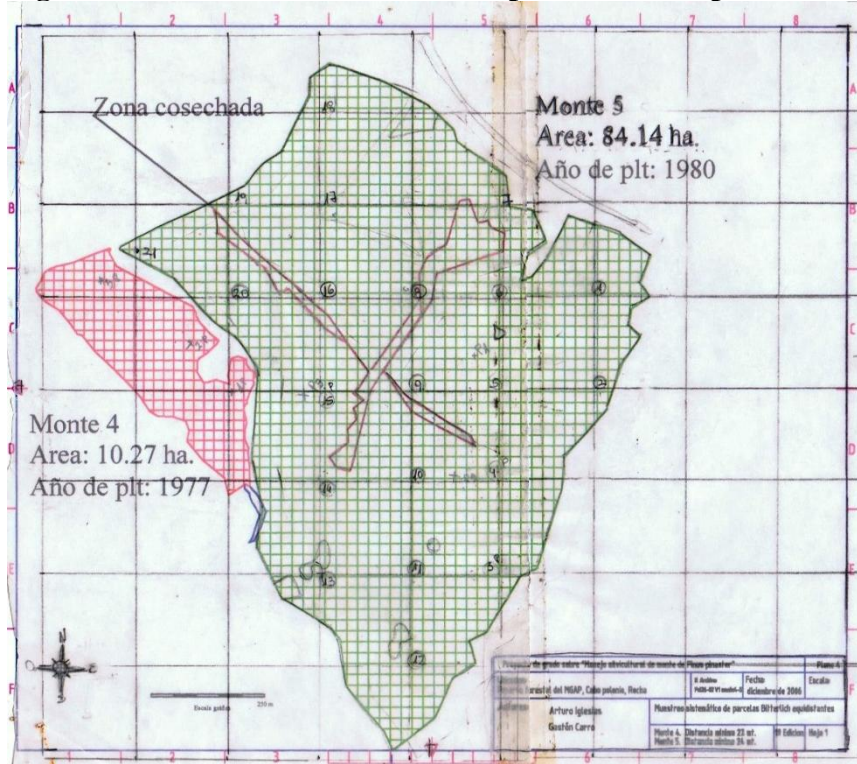
Fuente: ubicación de las parcelas sobre foto satelital obtenida de Google earth.

Figura No. 8. Plano de ubicación de parcelas a campo del monte 4



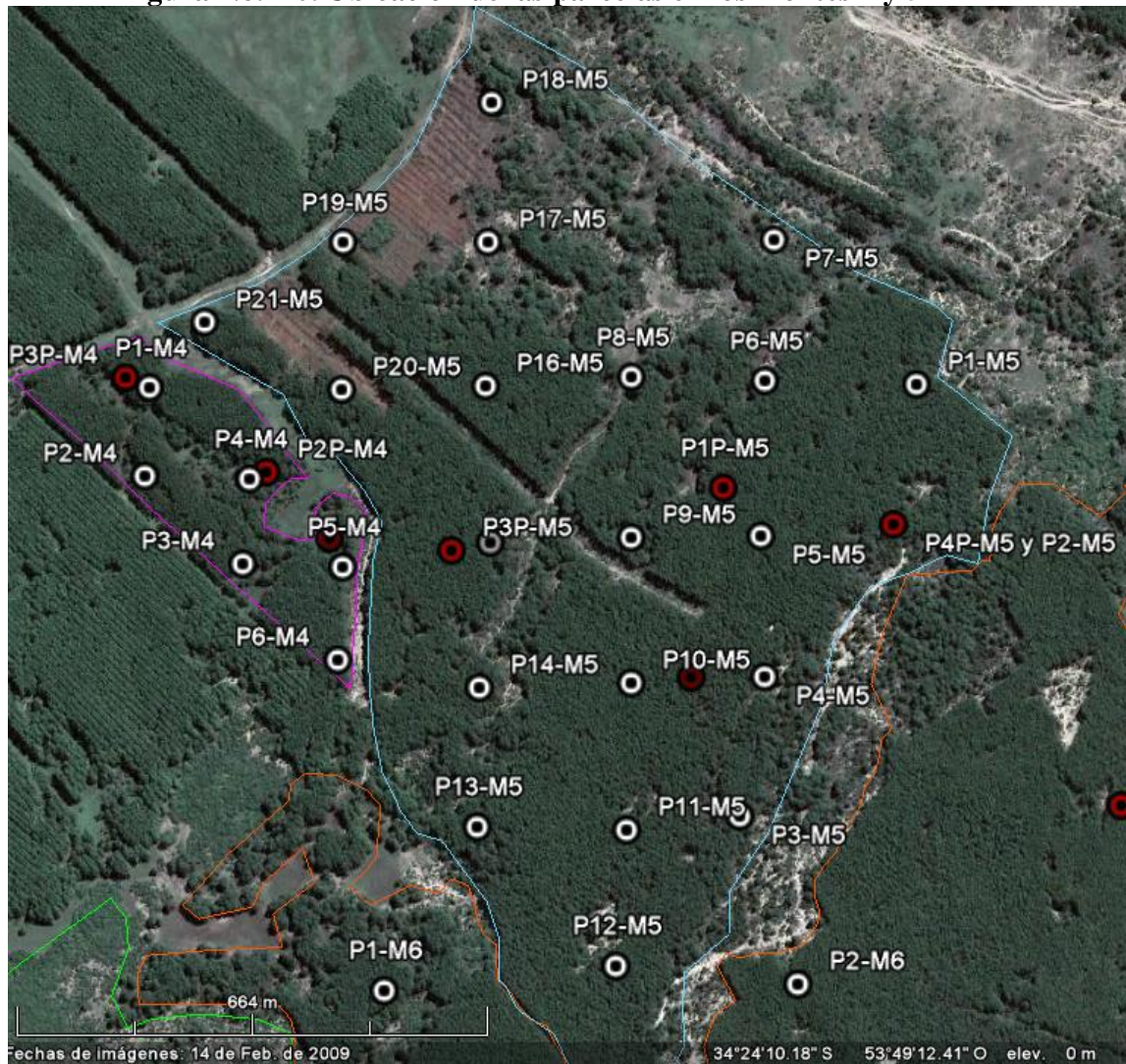
Fuente: elaborado a partir de los tracks obtenidos del GPS GARMIN utilizado escalado en Autocad 2006.

Figura No. 9. Plano de ubicación de parcelas a campo del monte 5



Fuente: elaborado a partir de los tracks obtenidos del GPS GARMIN utilizado escalado en Autocad 2006.

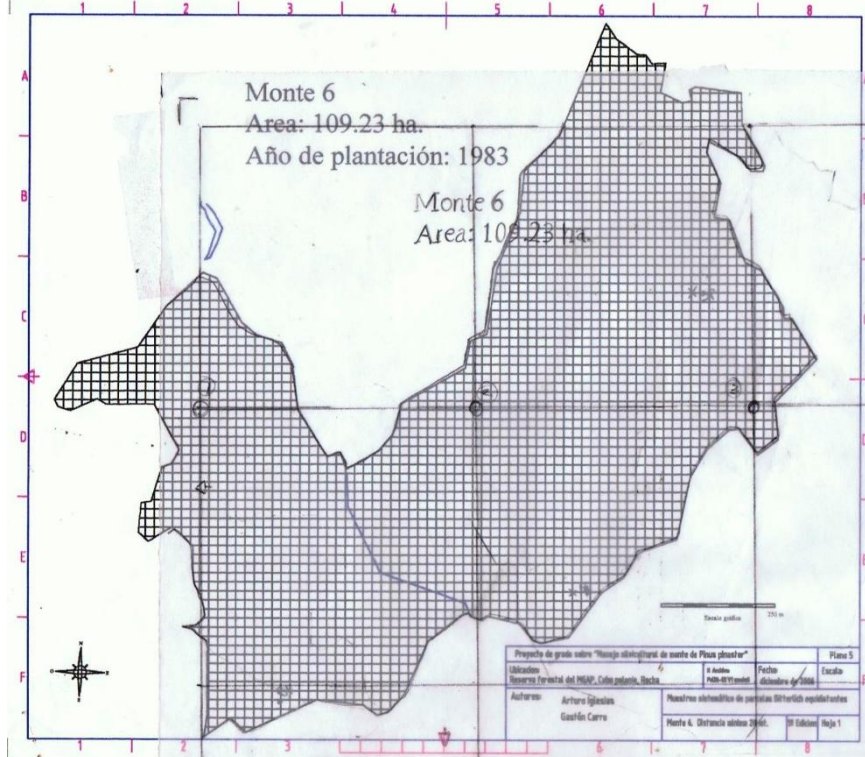
Figura No. 10. Ubicación de las parcelas en los montes 4 y 5



*Monte 4 enmarcado en violeta y monte 5 enmarcado en celeste. La nomenclatura de las parcelas es por ejemplo: P2-M4 corresponde a parcela 2 del monte 4. Puntos rojos corresponden a parcelas de inventario preliminar y los blancos a las del inventario final.

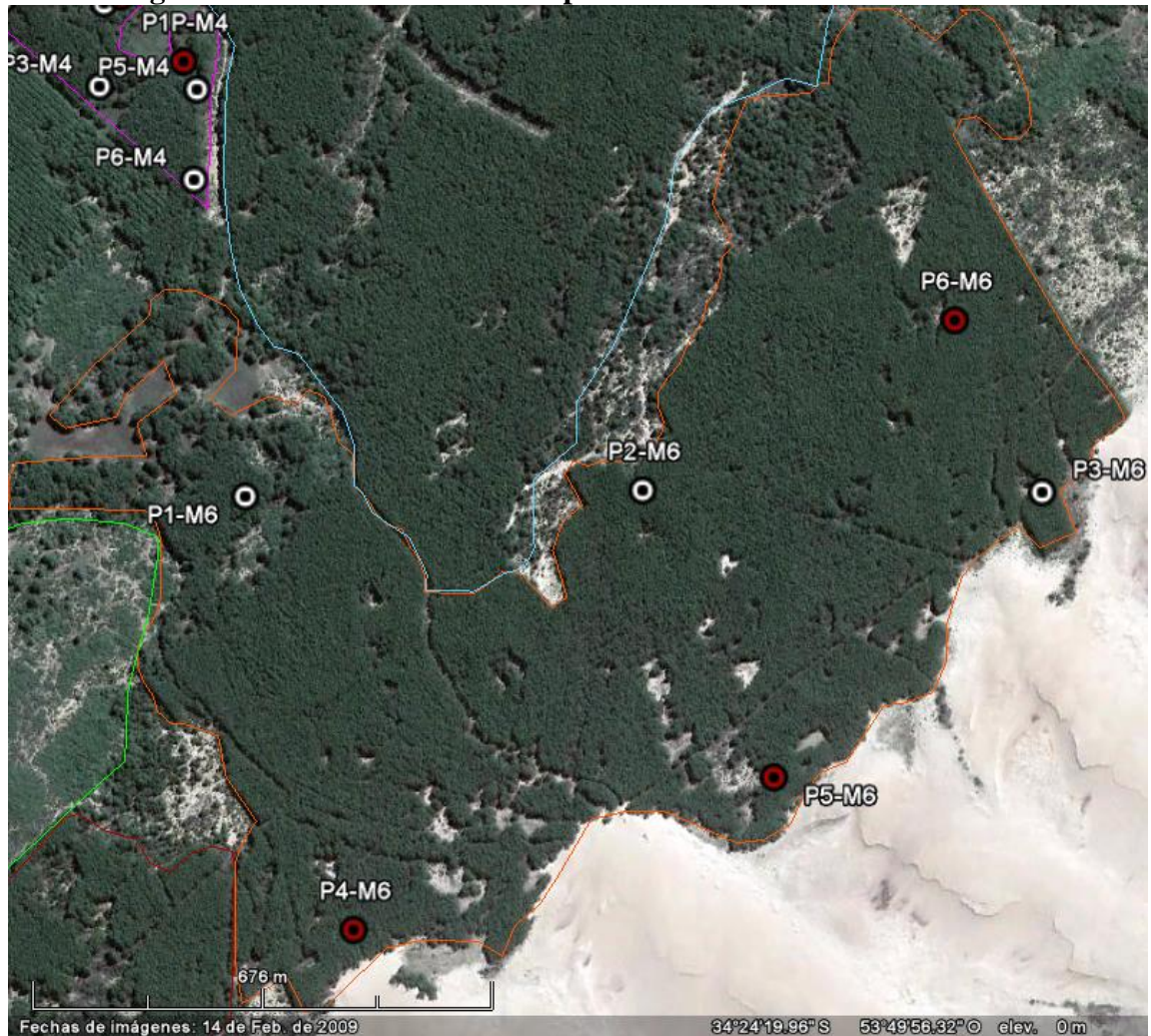
Fuente: ubicación de las parcelas sobre foto satelital obtenida de GoogleEarth. Cabe aclarar que el Monte 5 presenta zonas cosechadas después de realizado el inventario (Parcelas P17-M5, P18-M5 y P19-M5).

Figura No. 11. Plano de ubicación de parcelas a campo del monte 6



Fuente: elaborado a partir de los tracks obtenidos del GPS GARMIN utilizado escalado en Autocad 2006.

Figura No. 12. Ubicación de las parcelas en el monte 6



*Monte 6 enmarcado en naranja. La nomenclatura de las parcelas es por ejemplo: P4-M6 corresponde a parcela 4 del monte 6. Puntos rojos corresponden a parcelas de pre inventario y los blancos a las del inventario final.

Fuente: ubicación de las parcelas sobre foto satelital obtenida de Google earth.

RESULTADOS PRELIMINARES

Cuadro No. 5. Resultados del muestreo preliminar

		Monte 1	Monte 2	Monte 3	Monte 4	Monte 5	Monte 6
Volúmenes en (m³/ha)	Par. 1	352.89	272.97	399.65	496.94	344.16	238.95
	Par. 2	439.11	290.88	294.31	510.18	245.61	257.58
	Par. 3	362.84	241.20	334.84	578.52	378.59	267.75
	Par. 4	403.20	287.69	300.92		290.16	
	Par. 5		355.79	271.17			
Media		389.51	289.71	320.18	528.55	314.63	254.76
Desvío estándar		39.58	41.85	49.93	43.78	58.67	14.61
CV (%)		10.16	14.45	15.59	8.28	18.65	5.73
GL		3	4	4	2	3	2
t Student		2.35	2.13	2.13	2.92	2.35	2.92
Tamaño mínimo de la muestra = $t^2 * CV^2 / Er^2$		6	9	11	6	19	3

Tabla de resultados del inventario preliminar y cálculo del número mínimo de parcelas para 10% de error.

Cuadro No. 6. Factores de forma calculados

Factor de Forma	Monte 1	Monte 2	Monte 3	Monte 4	Monte 5	Monte 6	Promedio
Total cc	0,44	0,49	0,54	0,46	0,45	0,46	0,47
Total sc	0,38	0,38	0,47	0,38	0,39	0,40	0,40
Comercial (15 cm) cc	0,42	0,38	0,34	0,39	0,40	0,35	0,38
Comercial (15 cm) sc	0,35	0,29	0,28	0,32	0,35	0,28	0,31
Comercial (12 cm) cc	0,43	0,45	0,52	0,43	0,44	0,43	0,45
Comercial (12 cm) sc	0,36	0,34	0,44	0,36	0,38	0,37	0,38

VARIABLES CALCULADAS

Cuadro No. 7. Fórmulas utilizadas para el inventario

Volumen tocón:	$V_{\text{tocón}} = \frac{\pi}{4} \times H_{\text{tocón}} \times D_0^2$	4
Volumen trozas (Smalian)	$V_{\text{trozas}} = \frac{\pi}{8} \left[D_0^2 + D_n^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} D_i^2 \right]$	5
Volumen ápice	$V_{\text{ápice}} = \frac{1}{3} \times D_n \times L$	6
Volumen real del árbol:	$V_{\text{real}} = V_{\text{tocón}} + V_{\text{trozas}} + V_{\text{ápices}}$	2
Volumen aparente	$V_{\text{aparente}} = \frac{\pi}{4} DAP^2 \times Ht_{\text{árbol}}$	3
Factor de Forma:	$FF = \frac{V_{\text{real}}}{V_{\text{aparente}}}$	1
Área basal Muestreo Bitterlich.	$Ab = FAB \times N$	7
Volumen: Muestreo Bitterlich	$\text{Volumen} = Ab \times H \times FF$	8
No. de árboles por hectárea:	$N_{\text{arb/ha}} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{4 \times N_i \times FAB}{DAP_i^2 \times \pi}$	9
Superficie de cada parcela	$\text{Sup. par.} = \frac{N^\circ \text{ tot. arb. parcela} \times 10000}{N^\circ \text{ arb. / ha}}$	10

SIMULACIÓN DE RALEO

En la hoja de cálculo resumen de cada monte se introduce un área de coeficientes silvícolas para la simulación del raleo.

Cuadro No. 8. Coeficientes silvícolas calculados luego del raleo

CE final (para cálculo)	Coeficiente de espaciamiento objetivo, se introduce manualmente
Árb. remanentes	Calculados a partir del coeficiente final objetivo
Árb. a sacar (x ha)	
Árb. a sacar (x par)	
% Raleo	
Dap med.final	Calculado a partir del CE final objetivo y los árboles restantes en la parcela luego del raleo
IDR FINAL	Calculado luego de haber modificado del CE final objetivo
DAP med D,CD	Calculado con los árboles remanentes en la parcela
CE final (desp.raleo)	Coeficiente de espaciamiento final real, es el calculado con los árboles remanentes.

Se introduce en los cálculos un coeficiente de espaciamiento de ingreso manual, que nos va a indicar en esas condiciones cuantos árboles retirar, y se va modificando hasta que el IDR final adopte el menor valor posible dentro del rango de bien poblado.

En cada parcela se retira el número de árboles necesario de acuerdo al criterio de descarte ya mencionado. Esto va a variar el IDR. Final, y el coeficiente de espaciamiento final real.

Este Ce que variamos no es el Ce final, ya que solo indica cuantos árboles retirar de la parcela, manteniendo los DAP medios de dominantes y codominantes, lo cual puede no ocurrir, porque se utilizan los criterios de raleo previamente mencionados que van a afectar este valor.

Por lo tanto es necesario recalcular el Ce al final, de forma que quede por encima de 15 para indicar que no es necesario un raleo, descontando los árboles raleados y teniendo en cuenta solo los remanentes.

Luego de marcados para retirar los árboles seleccionados, el IDR final puede volver a subir, entonces se vuelve a modificar levemente el coeficiente de espaciamiento de ingreso manual, sin que varíe el número de árboles a retirar por parcela. Pero si varía el número de árboles a retirar por hectárea y por lo tanto el IDR final.

El objetivo final es obtener la mayor cantidad de madera posible, dejando la masa en situación de mínima competencia con el fin de mejorar las condiciones de crecimiento de los árboles remanentes, y, obtener en un futuro un mayor volumen libre de nudos así como una mejor conformación en cuanto a rectitud y sanidad. Esto implica que en este raleo se extraerán árboles de bajo o nulo rendimiento maderero, apostando a una masa mejor constituida para fines madereros en el futuro.

ANEXO III - RESULTADOS

INVENTARIO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MONTES

A continuación se presentaran los datos de cada monte analizándolos de manera de describir mejor la población bajo estudio.

Suelos, Relación superficie/perímetro y exposición a los vientos

Como puede verse en el cuadro siguiente, salvo parte del monte 2, el monte 4 y el monte 1, el resto están ubicados sobre el Grupo de Suelos CONEAT 07.2, el cual corresponde a arenas no fijadas, sin aptitud para cultivos (ver cuadro No. 1) . Esto confirma lo observado in situ, en el sentido que la mayor parte de la plantación en estudio se encuentra sobre dunas móviles.

Por otro lado, puede verse la importancia de la plantación de *P. pinaster* en la contención de las dunas en su avance sobre el monte nativo. En definitiva, la existencia del monte nativo y su repoblación son posibles gracias a la protección que ofrece el monte de pino, tanto de los efectos del viento como del avance de las dunas.

En el Cuadro No. 9 se resume la información recabada de cada monte en cuanto a edades, superficies, relación superficie/perímetro grupo de suelos CONEAT y exposición a los vientos.

Cuadro No. 9. Resumen de información sobre los montes de *P. pinaster*

Monte	Año de plantación	Edad (años)	Superficie (ha)	Relación superficie / perímetro	Grupo suelos CONEAT	Exposición
1	1980	26	6,6	42	07.1	Menor
2	1966	40	18,7	69	07.2 – 07.1	Mayor
3	1977	29	40,7	91	07.2	Mayor
4	1977	29	10,3	56	07.1	Menor
5	1980	26	76,3	130	07.2	Menor
6	1983	23	106,5	134	07.2	Mayor

La relación superficie: perímetro cuantifica cuán estrecha y alargada es la forma del monte, en relación a los otros, valorando de manera indirecta el efecto borde en las parcelas de muestreo. Los Montes 1 y 4 tienen los menores valores de relación superficie: perímetro (Cuadro No. 9), lo que indica que eran más angostos que los demás. A esto se suma la mayor presencia de claros, por lo que es mayor la probabilidad de tener parcelas con efecto borde. Esto puede resultar en el registro de individuos con tamaño mayor al promedio del rodal, dada una mayor disponibilidad de recursos debido

a la menor competencia. En el caso del monte 4 también existe la presencia de claros no cuantificados en esta relación, por lo que el efecto sería más acentuado.

En cuanto a la exposición, es posible comparar los montes según su ubicación en relación a los vientos predominantes. Aquellos más expuestos son los Montes 2, 3 y 6, situados más cerca de la línea de costa. Además, por la forma y orientación de esta línea en la proximidad de un cabo, estos montes soportan el embate de los vientos desde las dos direcciones predominantes para la zona, Suroeste y Noreste.

Características Poblacionales, Volumen (m³), e IMA (m³/año), por monte

A continuación se presentan las frecuencias de clases diamétricas estimadas para cada monte.

Cuadro No. 20. Caracterización de las existencias en pie de los montes de *P. pinaster* según la distribución de sus clases diamétricas

Clase de dap (marca)	Frecuencia promedio en cada monte (%)					
	Monte 1	Monte 2	Monte 3	Monte 4	Monte 5	Monte 6
5 - 10 (7,5)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4
10 - 15 (12,5)	0.0	18.5	4.4	0.0	1.2	22.5
15 - 20 (17,5)	5.6	35.6	29.4	2.4	11.4	34.0
20 - 25 (22,5)	12.9	26.6	31.8	19.8	25.8	31.0
25 - 30 (27,5)	23.7	10.7	24.4	32.0	26.9	9.2
30 - 35 (32,5)	27.7	5.8	7.4	26.4	19.8	1.7
35 - 40 (37,5)	15.1	1.4	2.5	15.2	11.3	0.2
40 - 45 (42,5)	11.7	1.2	0.1	3.2	3.0	0.0
45 - 50 (47,5)	3.4	0.3	0.0	1.1	0.6	0.0
Suma	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Como lo muestra el cuadro, los Montes 2, 3 y 6 presentan características similares en DAP medio, y de acuerdo a la información presentada en el trabajo, también presentan características similares en cuanto a No. de árboles / ha y volumen de existencias en crecimiento. De ellos, se destaca el Monte 6 con un mayor número de árboles por ha, lo que puede indicar la ocurrencia de una mortalidad mayor en los

montes 2 y 3, suponiendo una igual densidad de plantación, explicada por sus edades mayores.

Como puede verse en el cuadro No. 30 existen diferencias importantes en la distribución de clases diamétricas en los distintos montes, de manera independiente de la edad (cuadro No. 9). El Monte 2, el de mayor edad (plantado en 1966), como el Monte 6, el más joven (1983), tienen distribución en clases de DAP similares, con mayor frecuencia de las clases de menor diámetro normal. En contraste, el Monte 1 entre los más jóvenes, tiene los porcentajes más altos de su población entre las clases de DAP mayores.

Es de notar que el Monte 1 y el Monte 4 son los que presentan la mayor proporción de individuos en las clases diamétricas más altas de los seis montes. Por otra parte, también están entre los que tienen mayor volumen de existencias por ha; ambos se encuentran sobre suelos 07.1. Como ya se mencionó, estos también son los montes con una menor relación superficie/ perímetro, lo que puede haber aportado a la presencia de individuos de tamaño mayor al promedio por efecto borde. Por otro lado los Montes 2, 3 y 6 que son los más expuestos a la acción del viento y se encuentran sobre el suelo 07.2 (a excepción de parte del monte 2), presentan frecuencias más altas en las menores clases diamétricas.

La información presentada a partir del inventario, muestra a los Montes 2, 3 y 6 con características similares en cuanto a DAP medio, densidad de rodal y volumen de existencias en crecimiento. De ellos, se destaca el Monte 6 con un mayor número de árboles por ha, lo que indica la ocurrencia de una mortalidad mayor en los montes 2 y 3, suponiendo una igual densidad de plantación, explicada por sus edades mayores.

En el Cuadro No. 1 puede verse cómo los montes 1, 4 y 5, comparándolos con la densidad máxima registrada (Monte 6), son los que tienen un menor porcentaje de la misma. Esto puede deberse a que, por tener mejores condiciones de crecimiento, i.e. menor exposición y/o mejores suelos, en estos rodales se estableció competencia antes que en los otros, habiendo operado hace ya más tiempo los mecanismos de autorraleo.

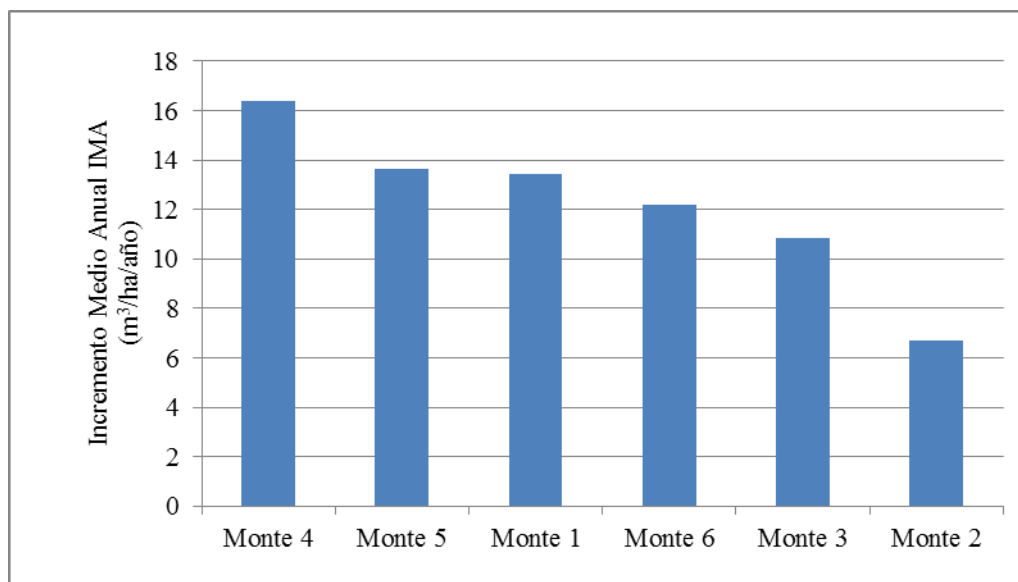
Cuadro No. 41. Incrementos medios anuales en DAP, densidad de rodal relativa (%) e incremento medio anual en Volumen de los montes de *P. pinaster*

Monte	Edad	DAP		Número de árboles/ha		Volumen	
		\bar{x} (m)	$\Delta Dap(m/año)$	\bar{x}	% ¹	\bar{x}	IMA(m ³ /ha/año)
1	26	0,34	0,013	516	35	349	13,4
2	40	0,22	0,006	1189	81	268	6,7
3	29	0,25	0,009	992	68	315	10,9
4	29	0,31	0,011	764	52	476	16,4
5	26	0,3	0,012	699	48	353	13,6
6	23	0,21	0,009	1463	100	281	12,2

¹- Densidad de rodal como porcentaje de la densidad del rodal más poblado del área en estudio (Monte 6).

En comparación con los Montes 2, 3 y 6, los Montes 1, 4 y 5 presentan mayores valores de DAP medio, densidad de rodal (número de árboles por hectárea) y volumen de existencias en pie (m³ por hectárea).

Figura No. 13. Incremento Medio Anual (IMA) estimado para cada monte



Como muestra el gráfico, los rodales de mayor productividad son los Montes 4, 5 y 1 en ese orden y los de menor productividad son los montes 6, 3 y 2.

Defectos y tipo de clases de copa encontrados por monte

A continuación se expondrán los resultados del estudio de los defectos encontrados en cada monte y sus frecuencias de distribución.

Para una descripción detallada de los defectos ver el capítulo No. 4.1.4 Sistema de clasificación de árboles por defectos.

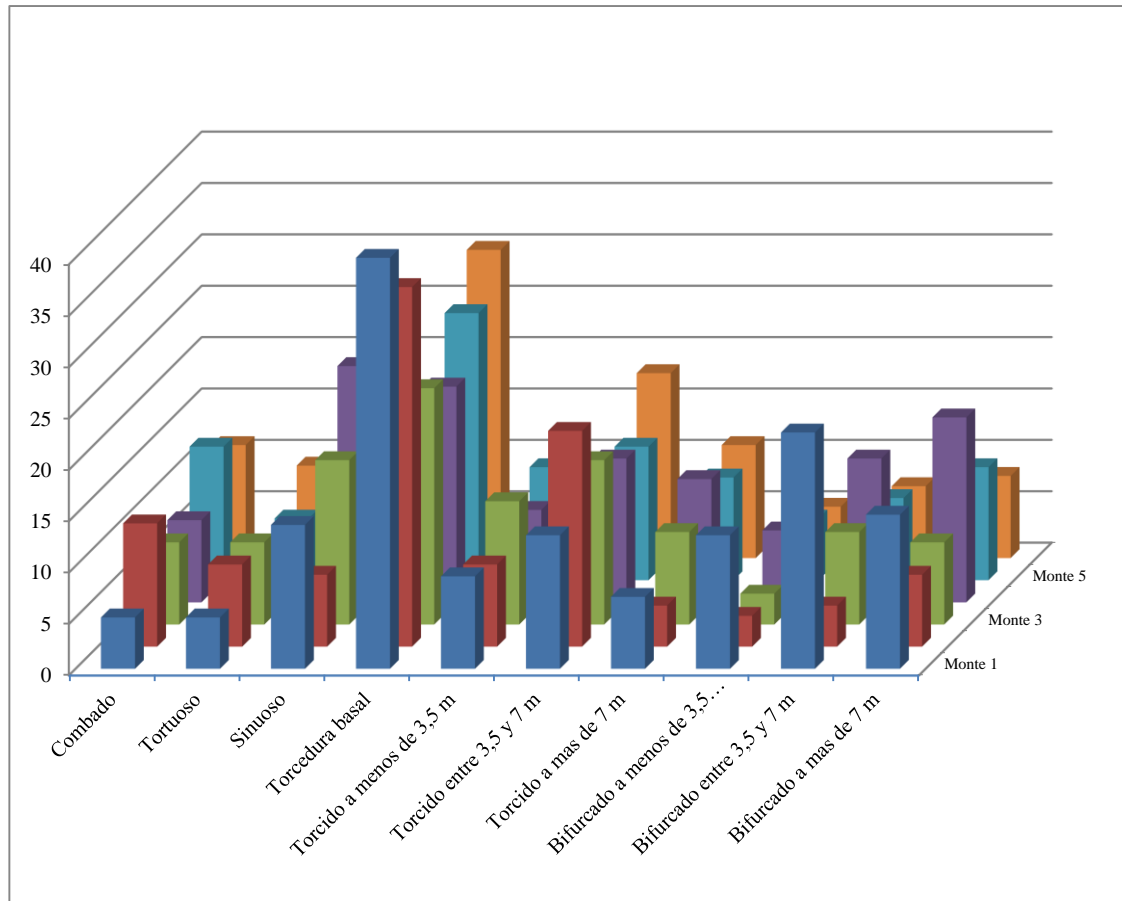
Cuadro No. 52. Porcentaje de defectos registrados en cada monte

Defecto	Monte- ¹					
	1	2	3	4	5	6
Combado	5	12	8	8	13	11
Tortuoso	5	8	8	3	6	9
Sinuoso	14	7	16	23	5	5
Torcedura basal	40	35	23	21	26	30
Torcido a menos de 3,5 m	9	8	12	9	11	6
Torcido entre 3,5 y 7 m	13	21	16	14	13	18
Torcido a más de 7 m	7	4	9	12	10	11
Bifurcado a menos de 3,5 m	13	3	3	7	6	5
Bifurcado entre 3,5 y 7 m	23	4	9	14	8	7
Bifurcado a más de 7 m	15	7	8	18	11	8

¹ - Porcentaje de afectados sobre el total de individuos relevados. Los valores en cada columna no suman 100, dado que hay individuos que presentan defectos de dos o más categorías.

En el Cuadro No. 52 y en la Figura No. 14 se observa que, en términos generales, en todos los montes el defecto más frecuente es la torcedura basal, lo que indicaría posibles fallas en el procedimiento de plantación. Le sigue en importancia las torceduras entre 3,5 y 7 metros. Además es alta la incidencia de bifurcados entre 3,5 y 7 m y a más de 7 m. Es importante tener en cuenta estos defectos puesto que permiten cuantificar los árboles útiles y la cantidad de trozas aprovechables de los mismos

Figura No. 14. Porcentaje de individuos malformados según categoría de defecto en cada monte



También se nota la diferencia en los defectos de acuerdo a la exposición a los agentes climáticos. Es así que se diferencian en términos generales dos grupos, los montes costeros 2, 3 y 6 y los montes ubicados en las zonas más protegidas, 1 y 4. Los primeros presentan una mayor proporción de defectos asociados comúnmente a la acción del viento, como son las torceduras no basales y el combado.

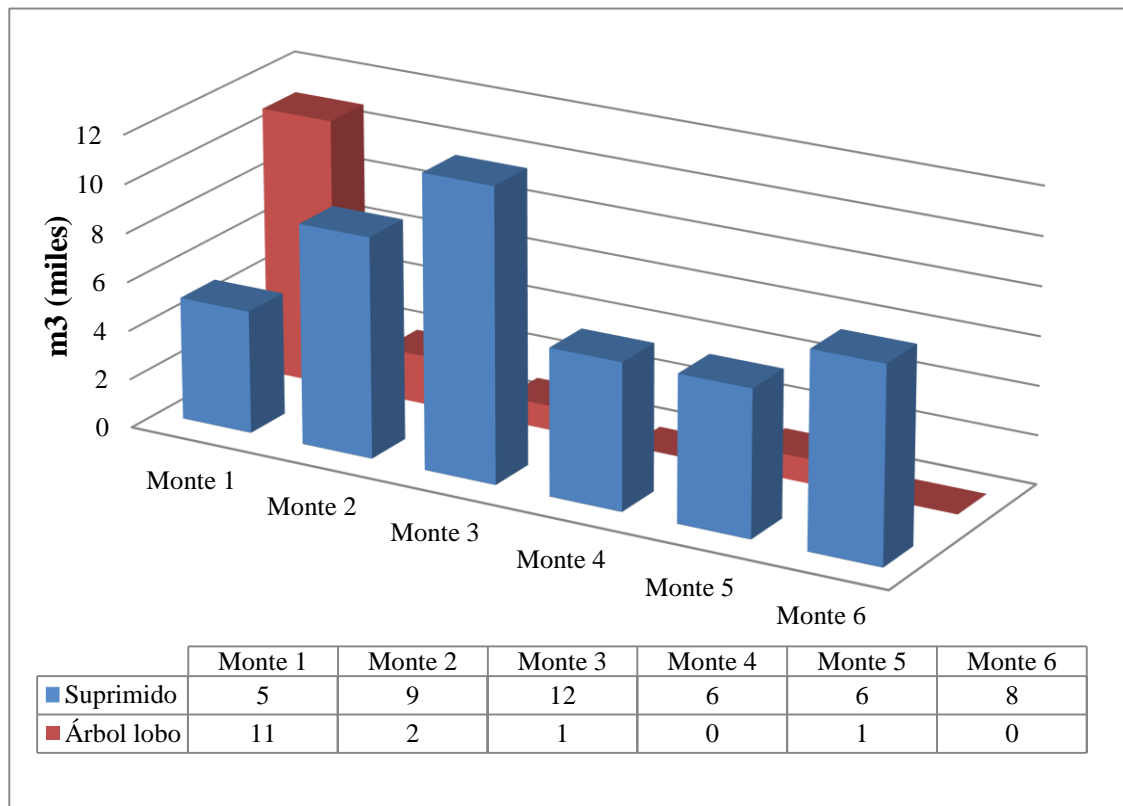
Los montes ubicados en zonas más protegidas (1, 4 y 5) presentan proporciones mayores de bifurcaciones. A campo se observó bifurcaciones simples, dobles y múltiples, pero se registró sólo su presencia o ausencia y la altura a partir de la cual afectaban el fuste.

En el caso de las bifurcaciones en altura, se pudo observar una mayor incidencia en el grupo de montes más protegidos, principalmente en los Montes 1 y 4. Si bien en éstos se podría esperar que el efecto del viento fuera menor, es claro que hay una mayor proporción de árboles expuestos, dado su baja relación área perímetro.

El Monte 5 presenta una situación intermedia, con altos niveles de torceduras y bifurcaciones en altura. También se encuentra ubicado en su mayor parte sobre la duna, protegido por el Monte 6 de los vientos del Sur, pero expuesto a los vientos predominantes del NE.

En cuanto a la clasificación de árboles según el nivel de copa, sólo fueron cuantificados árboles lobo y suprimidos. Se muestra los resultados en la Figura No. 15.

Figura No. 15. Porcentaje de individuos de las clases de copa sobredominante (árbol lobo) y suprimidos en cada monte



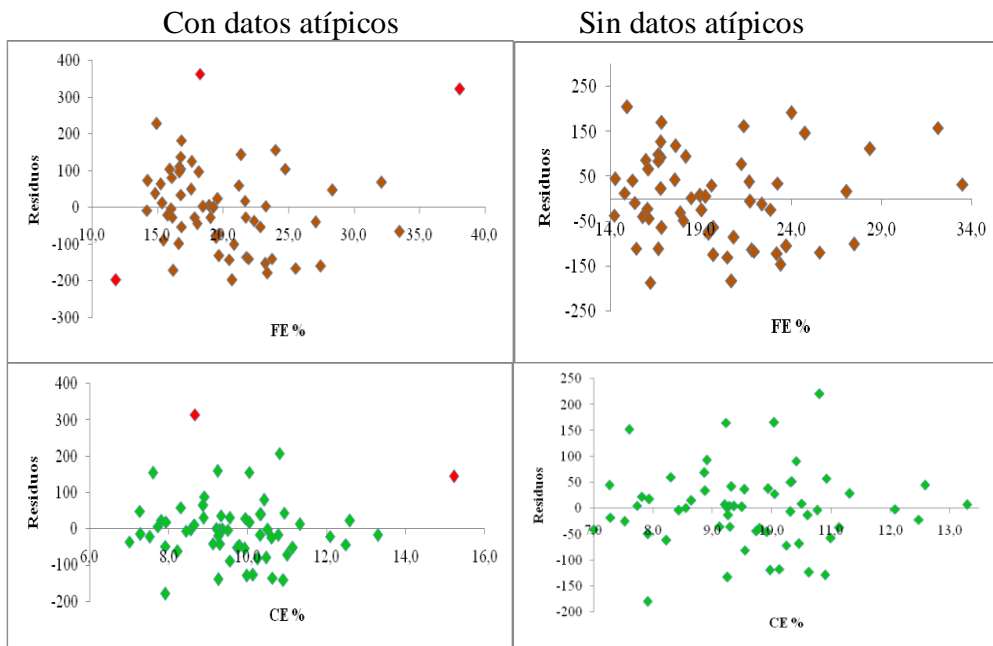
Como puede observarse, el Monte 1 es el único en el que se observó una incidencia importante de árboles lobo.

En los rodales más expuestos al viento (Montes 2, 3 y 6) se registró mayores cantidades de árboles suprimidos.

COMPARACIONES ENTRE LOS DISTINTOS ÍNDICES SILVÍCOLAS

De las comparaciones de los distintos índices silvícolas se obtuvieron los distintos gráficos en el análisis de regresión:

Figura No. 16. Gráficos de residuales de la regresión de IDR calculado contra los coeficientes silvícolas



Datos atípicos marcados en rojo.

Figura No. 17. Gráfico de residuales de la regresión del IDR contra densidad relativa

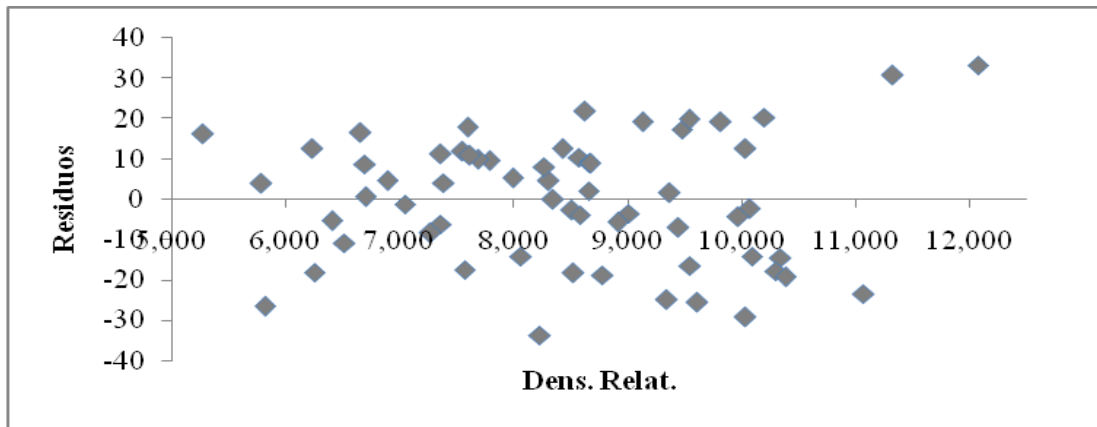


Figura No. 18. Gráficos de probabilidad normal de IDR calculado contra factor de espaciamiento excluyendo datos atípicos

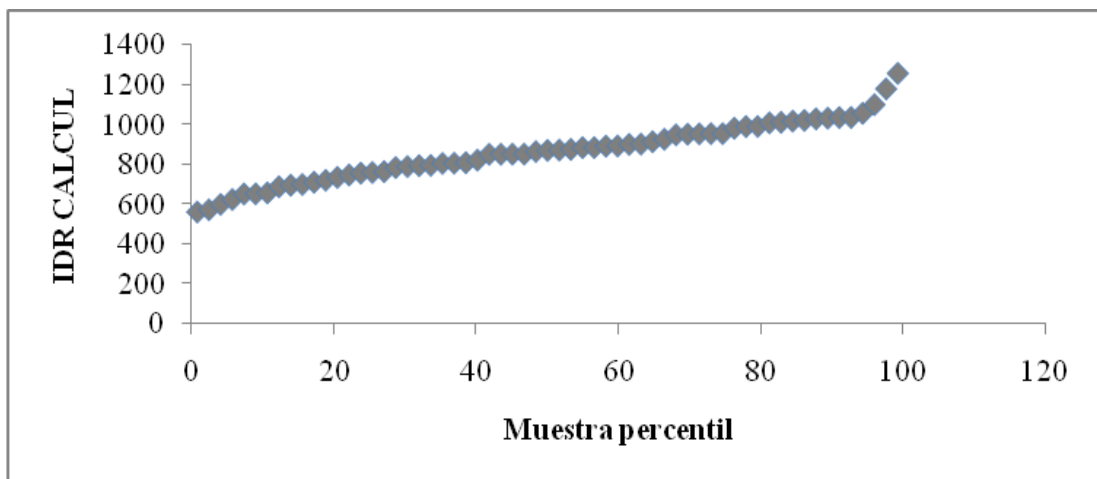


Figura No. 19. Gráficos de probabilidad normal de IDR calculado contra coeficiente de espaciamiento excluyendo datos atípicos

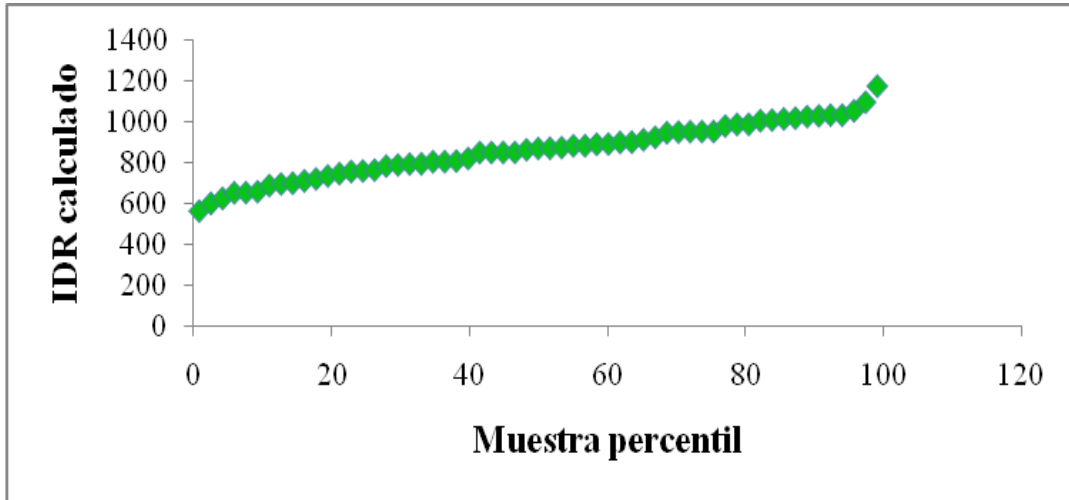


Figura No. 20. Gráficos de probabilidad normal de IDR calculado contra densidad relativa excluyendo datos atípicos

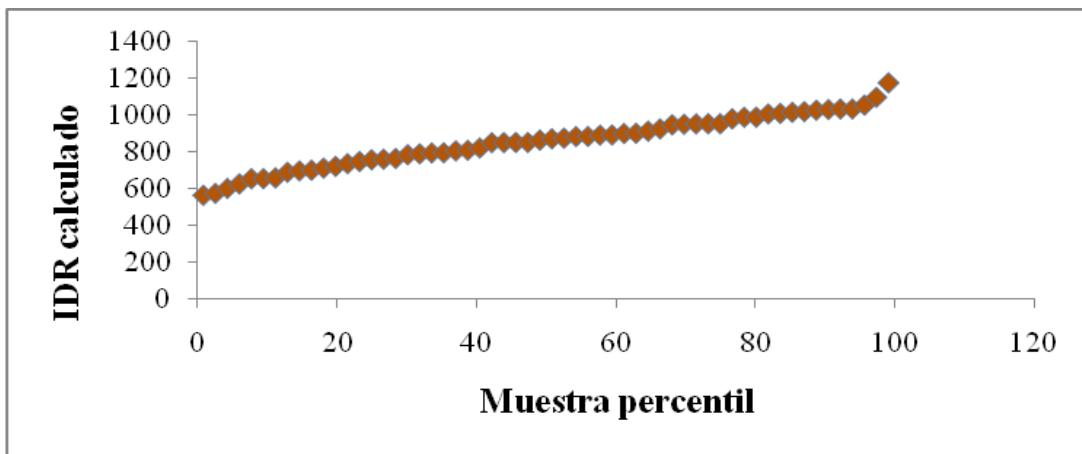


Figura No. 21. Curva de regresión ajustada de IDR calculado contra factor de espaciamento excluyendo datos atípicos

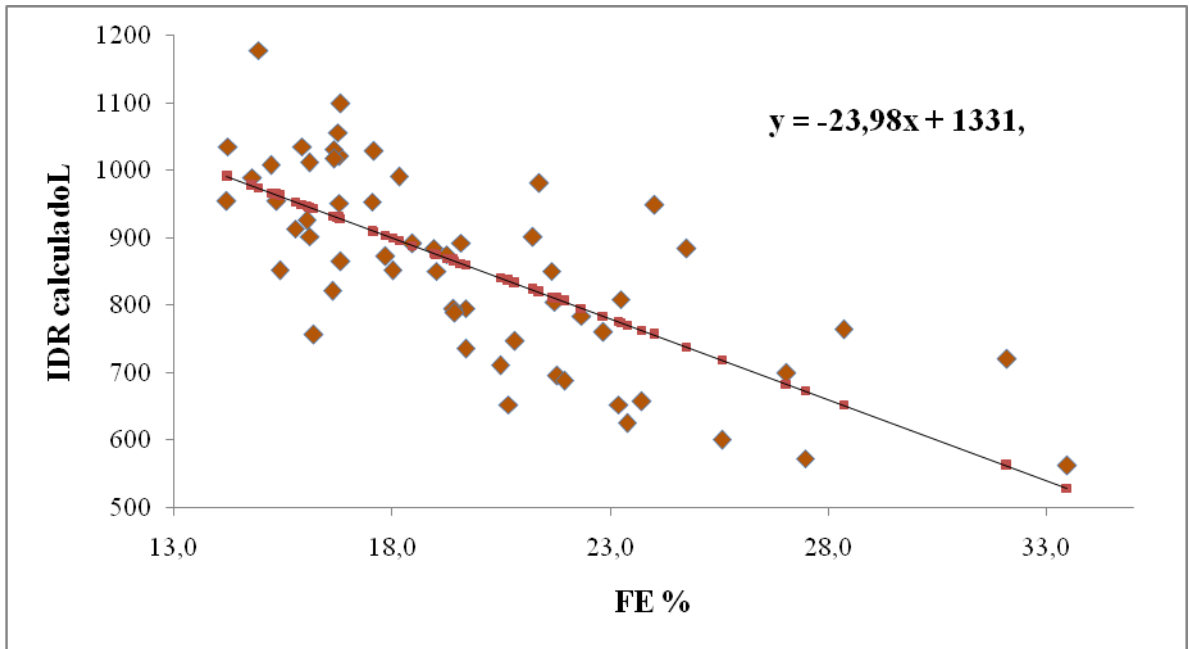


Figura No. 22. Curva de regresión ajustada de IDR calculado contra coeficiente de espaciamento excluyendo datos atípicos

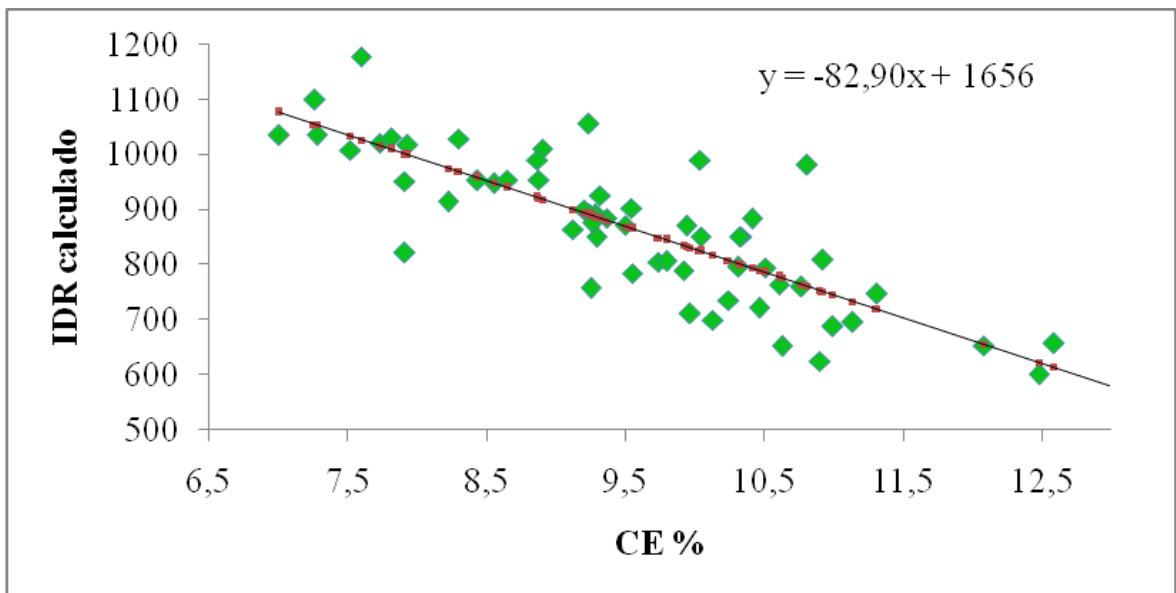
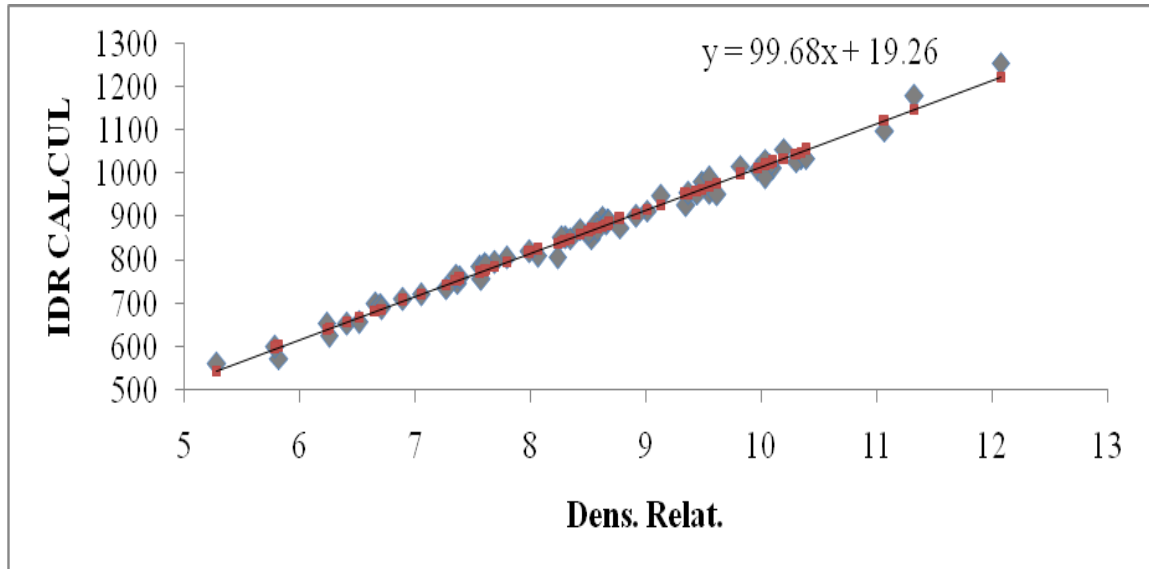


Figura No. 23. Curva de regresión ajustada de IDR calculado contra densidad relativa



Cuadro No. 63. Parcelas consideradas datos atípicos

Monte	Parcela	Motivo
2	6	Punto atípico para Ce
4	1	Punto atípico para Ce
2	2	Punto atípico para Fe
4	1	Punto atípico para Fe (%)
6	4	Punto atípico para Fe (%)

Cuadro No. 74. Resumen de los resultados de regresión

	Regresión con IDR calculado	Sin incluir datos atípicos			Incluyendo datos atípicos	
		Ce	Fe (%)	DR*	Ce	Fe (%)
Datos de regresión	R	0.84	0.72	0.99	0.81	0.58
	R²	0.70	0.52	0.99	0.66	0.33
	R² ajust	0.69	0.51	0.99	0.65	0.32
	error típico	75.08	98.89	15.75	87.06	121.66
	observaciones	59	58	61	61	61
	F	132.7	61.37	5217.85	113.6	29.4
	Valor P	1.6E-16	1.5E-10	2.8E-59	2.21817E-15	1.2E-06
	p	-82.9	-24.0	99.7		
k	1656.7	1331.9	19.3			

- Para los datos de densidad relativa no se encontraron datos atípicos.

RESULTADOS:

Cálculo de IDR y sus límites máximos y mínimos

Cuadro No. 85. Cálculo de los límites de densidad para *Pinus pinaster*

Límites de densidad				
Límite	IDR	Ce	Fe (%)	DR
Línea de densidad máxima	1097	6.8	9.8	10.8
Límite superior	603	12.7	30.4	5.9
Límite inferior	384	15.4	39.5	3.7
Cierre de dosel	164	18.0	48.7	1.5

Procedimiento para calcular los parámetros

Previo a la simulación de raleo:

IDR (Índice de Reineke):

- fórmula general de Reineke (4 y 5)
- fórmula simplificada con pendiente calculada en el monte (9)
- Espaciamiento medio (13)
- Factor de espaciamiento (14)

En lugar de la altura media de dominantes y codominantes se utilizó la altura de los 100 árboles de mayor DAP por hectárea.

- No. árboles para DAP medio de D y CD (15)

Son los 100 árboles de mayor tamaño por hectárea. Como no tenemos las alturas de todos los árboles, no podemos identificar los dominantes y codominantes. Por lo tanto utilizamos como tales los de mayor diámetro que según consulta realizada en cátedra con el Prof. Cabris es una buena aproximación.

- DAP medio de D y CD (16)
- Coeficiente de espaciamiento (17)
- Coeficiente de esbeltez (18)
- Densidad relativa (6)

Posterior a la simulación de raleo:

- árboles remanentes (19)
- árboles a sacar por hectárea (20)
- árboles a sacar por parcela (21)
- porcentaje de raleo(22)

Luego de realizado el raleo el DAP medio final, el DAP medio de dominantes y codominantes, el IDR, y el coeficiente de espaciamiento, cambian, ya que no está el aporte de los árboles raleados, por lo tanto hay que volver a calcularlos con los árboles remanentes.

IDR final:

- fórmula general de Reineke (4)
- fórmula simplificada con pendiente calculada en el monte:

$$IDR = No.a / ha_{[remanentes]} \times \left(\frac{\overline{DAP}_{[remanentes]}}{25} \right)^{1,598}$$

DAP medio Dy CD final (16)

Promedio de los “No. Árb. DAP med. D, CD” de la parcela remanentes ordenados de mayor a menor siendo n el DAP mayor n-1 el siguiente y así sucesivamente.

Coefficiente de espaciamento final:

En este caso se toma el DAP medio de dominantes y codominantes que quedan luego del raleo y el espaciamento medio de los árboles remanentes.

Densidad relativa (6)

Cuadro No. 96. Planilla resumen de cálculos para el Monte 1

No. de parcela:	1	2	3	4	5	6	7	Total parcelas		
No. árb. por parcela:	22.00	21.00	31.00	23.00	23.00	28.00	25.00	Media	Desvío	CV (%)
DAP										
Media	0.37	0.40	0.34	0.32	0.34	0.31	0.28	0.34	0.04	11.07
Desvío	0.08	0.05	0.07	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.01	18.58
CV	22.21	12.87	20.28	20.20	14.65	20.33	19.04	18.51	3.41	18.44
Coefficientes silvícolas calculados previo al raleo										
N (1/0,5) total	19.5	16.5	24.5	18.5	18	21	21.5			
Ab (m²/ha)	39	33	49	37	36	42	43	39.86	5.30	13.31
Volumen (m³/ha)	330.50	276.36	449.18	303.01	333.23	367.87	381.64	348.83	56.92	16.32
Sup. parcela	462.2	599.4	409.0	365.4	437.0	331.7	282.3	412.41		
No. Árboles /ha	422	275	599	506	412	633	762	515.61	162.64	31.54
DQM	0.34	0.39	0.32	0.31	0.33	0.29	0.27	0.32		
Índice Reineke	701	564	903	697	654	806	852	740	119	16
No. A. Dapmed DCD	5	6	4	4	4	3	3			
H med D,CD	18.00	18.00	19.25	20.40	21.25	18.30	23.50			
Fe (%)	27.0	33.5	21.2	21.8	23.2	21.7	15.4	23.41	5.61	23.97
Esp. Medio	4.87	6.03	4.09	4.44	4.93	3.97	3.62	4.56	0.80	17.53
DAP med D,CD	0.481	0.453	0.444	0.399	0.408	0.408	0.361	0.42	0.04	9.47
Coef. Esp.	10.13	13.30	9.20	11.14	12.08	9.74	10.04	10.80	1.45	13.46
Coef. Esbeltez	50.92	47.18	60.06	53.68	56.34	57.94	62.06	55.46	5.23	9.43
Ind. Estabilidad	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.08	16.96
Densidad relativa	6.7	5.3	8.6	6.7	6.2	7.8	8.3	7.1	1.20	16.97
IDR calculado	700	562	901	696	653	805	852	738	119	16

*Nota IDR calculado con la pendiente obtenida en el análisis de regresión.

Coefficientes silviculturales finales										
No. de parcela:	1	2	3	4	5	6	7	Media	Desvío	CV (%)
Dap med.final	0.37	0.39	0.31	0.31	0.34	0.33	0.29	0.33	0.03	10.48
AB rem. (m²/ha)	22.00	23.00	21.00	21.00	22.00	21.00	20.00	21.43	0.98	4.55
DQM Final	0.36	0.38	0.30	0.29	0.33	0.32	0.28	0.32	0.04	10.87
N. árb. Reman. Final	222	202	301	313	255	256	315	266.24	44.64	16.77
% Raleo	47	26	50	38	38	60	59	45.46	11.98	26.35
IDR FINAL Reineke	390	397	399	402	401	387	387	395	7	2
IDR FINAL calculado	389	396	399	402	400	386	387	394	7	2
DAP med D,CD	0.42	0.45	0.34	0.38	0.39	0.40	0.35	0.39	0.04	9.10
CE final (desp.raleo)	16.14	15.79	16.84	14.85	16.01	15.81	16.02	15.92	0.59	3.69
Fe final (%)	37	41	28	30	29	34	26	32.34	5.50	17.01
Dr final	3.7	3.7	3.8	3.9	3.8	3.7	3.8	3.77	0.08	2.02
Volúmenes										
Volumen extraído (m³/ha)	139	80	259	140	129	180	201	161	58	36
Volumen Remanente(m³/ha)	191	196	191	163	204	188	181	187	13	7

Cuadro No. 107. Planilla resumen de cálculos para el Monte 2

Planilla resumen parcelas													
No. de parcela:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total parcelas		
No. árb. por parcela:	31	22	30	25	27	14	28	29	21	17	Media	Desvío	CV (%)
DAP													
Media	0.34	0.17	0.23	0.20	0.27	0.17	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.05	21.85
Desvío	0.07	0.04	0.06	0.05	0.06	0.02	0.05	0.04	0.04	0.06	0.05	0.02	30.89
CV	21	21	28	23	23	13	25	18	17	26	21	4	20
Coefficientes silvícolas calculados previo al raleo													
N (1/0,5) total	25.5	16.5	23.5	20	21	12	23	23	18.5	14	19.70	4.41	22.39
Ab (m²/ha)	51	33	47	40	42	24	46	46	37	28	39.40	8.82	22.39
Volumen (m³/ha)	385	203	330	277	320	129	314	322	230	171	268	81.47	30.38
Sup. parcela	382	101	168	132	252	114	156	169	174	158	181	81.93	45.38
No. Árboles /ha	667	1628	1403	1519	833	1057	1476	1358	1062	888	1189	330.24	27.77
DQM	0.31	0.16	0.21	0.18	0.25	0.17	0.20	0.21	0.21	0.20	0.21	0.04	20.82
Índice Reineke	952	801	1033	922	851	569	1025	1008	807	623	859	162.84	18.96
No. A. Dapmed DCD	4	1	2	1	3	1	2	2	2	2	1.81	0.82	45.38
H med D,CD	16.13	21.00	16.75	16.00	16.00	11.20	14.80	16.85	13.20	14.35	15.63	2.58	16.52
Fe (%)	24.0	11.8	15.9	16.0	21.7	27.5	17.6	16.1	23.2	23.4	19.72	4.90	24.85
Esp. Medio	3.87	2.48	2.67	2.57	3.47	3.08	2.60	2.71	3.07	3.36	2.99	0.46	15.47
DAP med D,CD	0.453	0.253	0.367	0.275	0.373	0.202	0.314	0.305	0.281	0.308	0.31	0.07	22.45
Coef. Esp.	8.55	9.79	7.28	9.32	9.29	15.22	8.30	8.90	10.92	10.90	9.85	2.19	22.27
Coef. Esbeltez	49.69	71.55	60.46	70.42	58.39	66.09	60.18	65.45	61.12	54.42	61.78	6.82	11.04
Ind. Estabilidad	0.4	0.75	0.47	0.59	0.46	0.56	0.48	0.57	0.50	0.49	0.52	0.10	19.92
Densidad relativa	9	8	10	9	8	6	10	10	8	6	9	1.59	18.50
IDR calculado	949	806	1036	926	851	573	1029	1011	809	625	861	162.58	18.87

Coefficientes silviculturales finales													
No. de parcela:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	Desvío	CV (%)
Dap med.final	0.32	0.18	0.23	0.22	0.26	0.18	0.21	0.22	0.23	0.22	0.23	0.04	18.12
AB rem. (m²/ha)	21.00	16.00	19.00	18.00	19.00	17.00	17.00	18.00	18.00	18.00	18.10	1.37	7.57
DQM Final	0.30	0.17	0.23	0.21	0.25	0.17	0.19	0.21	0.22	0.22	0.22	0.04	18.17
No. árb. Reman. Final	289	725	472	530	381	726	588	508	474	485	518	136.39	26.34
% Raleo	57	55	66	65	54	31	60	63	55	45	55.27	10.39	18.80
IDR FINAL Reineke	396	382	403	394	386	401	385	391	386	387	391	7.16	1.83
IDR FINAL calculado	395	384	403	396	386	403	386	392	387	388	392	7.05	1.80
DAP med D,CD	0.39	0.25	0.30	16.00	0.33	0.20	0.31	0.26	0.28	0.28	1.86	4.97	267.02
CE final (desp.raleo)	14.97	14.68	15.22	0.27	15.75	18.36	13.42	16.75	16.35	16.36	14.21	5.08	35.72
Fe final (%)	35	18	30	30	31	33	28	29	35	31	29.88	4.90	16.39
Dr final	3.8	3.9	4.0	3.9	3.8	4.1	3.9	3.9	3.8	3.9	3.9	0.09	2.33
Volúmenes													
Volumen extraído (m³/ha)	226	99	195	150	172	37	197	195	118	61	145	63.84	44.04
Volumen Remanente(m³/ha)	159	104	135	128	149	92	116	127	112	110	123	20.45	16.60

Cuadro No 118. Planilla resumen de cálculos para el Monte 3

No. de parcela:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total parcelas		
No. árb. por parcela:	21	30	29	28	23	26	28	25	21	22	26	Media	Desvío	CV (%)
DAP														
Media	0.25	0.26	0.25	0.27	0.28	0.26	0.25	0.21	0.27	0.22	0.21	0.25	0.02	10
Desvío	0.04	0.06	0.07	0.05	0.05	0.07	0.05	0.04	0.06	0.06	0.04	0.05	0.01	21
CV	14.38	23.51	26.38	20.30	17.71	26.79	18.94	18.59	22.59	25.09	21.11	21.40	3.89	18
Coefficientes silvícolas calculados previo al raleo														
N (1/0,5) total	18	24.5	24	23.5	19.5	22	21.5	19	16	17	21.5	20.59	2.89	14
Ab (m ² /ha)	36	49	48	47	39	44	43	38	32	34	43	41.18	5.78	14
Volumen (m ³ /ha)	256	366	390	417	294	331	357	262	174	272	344	315	71	22
Sup. parcela	224.2	219.9	211.2	248.9	304.7	223.3	212.4	154.8	244.3	159.5	161.5	214.96	44.52	21
No. Árboles /ha	803	1114	1136	944	640	985	1012	1227	655	1066	1331	992.27	220.89	22
DQM	0.24	0.24	0.23	0.25	0.28	0.24	0.23	0.20	0.25	0.20	0.20	0.23	0.02	10
Índice Reineke	747	1020	1007	955	761	913	901	848	653	754	952	865	121	14
No. A. Dapmed DCD	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2.15	0.45	21
H med D,CD	16.95	17.85	19.50	21.20	17.30	20.20	19.50	15.00	18.90	18.90	19.30	18.60	1.72	9
Fe (%)	20.8	16.8	15.2	15.4	22.8	15.8	16.1	19.0	20.7	16.2	14.2	17.55	2.83	16
Esp. Medio	3.53	3.00	2.97	3.25	3.95	3.19	3.14	2.85	3.91	3.06	2.74	3.24	0.40	12
DAP med D,CD	0.312	0.388	0.395	0.376	0.367	0.388	0.329	0.276	0.368	0.331	0.309	0.35	0.04	11
Coef. Esp.	11.31	7.73	7.52	8.65	10.77	8.22	9.54	10.34	10.63	9.25	8.88	9.35	1.28	14
Coef. Esbeltez	58.83	56.07	62.13	65.88	55.15	65.48	69.57	69.81	63.18	65.31	72.46	63.99	5.62	9
Ind. Estabilidad	0.6	0.50	0.53	0.57	0.49	0.53	0.61	0.56	0.26	0.64	0.68	0.54	0.11	20
Densidad relativa	7	10	10	9	7	9	9	9	6	8	10	8.56	1.21	14
IDR calculado	747	1021	1009	955	760	914	902	851	653	757	955	866	121	14

Coeficientes silviculturales finales														
No. de parcela:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Media	Desvío	CV (%)
Dap med.final	0.26	0.27	0.30	0.27	0.29	0.30	0.26	0.23	0.29	0.24	0.23	0.27	0.03	9
AB rem. (m²/ha)	19	19	20	19	20	20	19	18	20	18	18	19.09	0.83	4
DQM Final	0.25	0.25	0.29	0.25	0.29	0.27	0.25	0.22	0.27	0.22	0.22	0.25	0.02	10
N. árb. Reman. Final	380	375	310	377	312	343	383	465	357	462	484	386.19	59.89	16
% Raleo	53	66	73	60	51	65	62	62	45	57	64	59.84	7.79	13
IDR FINAL Reineke	386	385	386	385	387	394	386	384	397	384	387	387.34	4.19	1
IDR FINAL calculado	386	384	385	385	386	393	386	385	397	384	388	387.25	4.00	1
DAP med D,CD	0.31	0.35	0.37	0.36	0.34	0.39	0.30	0.27	0.37	0.30	0.31	0.33	0.04	11
CE final (desp.raleo)	16.70	14.93	15.36	14.41	16.75	13.94	17.16	16.94	14.39	15.31	14.72	15.51	1.17	8
Fe final (%)	30	28	29	26	33	27	27	31	28	24	24	27.93	2.86	10
Dr final	3.8	3.8	3.7	3.8	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.8	3.9	3.80	0.04	1
Volúmenes (m ³ /ha)														
Volumen extraído	116	220	219	246	142	155	193	136	73	126	200	166	53	32
Volumen Remanente	140	145	171	171	152	176	164	125	101	146	143	148	22	15

Cuadro No. 19. Planilla resumen de cálculos para el Monte 4

No. de parcela:	1	2	3	4	5	6	Total parcelas		
No. árb. por parcela:	20	13	14	17	34	14	Media	Desvío	CV (%)
DAP									
Media	0.33	0.29	0.29	0.32	0.35	0.30	0.31	0.02	6
Desvío	0.05	0.08	0.04	0.05	0.08	0.03	0.06	0.02	35
CV	14.62	27.53	14.85	15.48	22.63	10.86	17.66	6.17	35
Coefficientes silvícolas calculados previo al raleo									
N (1/0,5) total	17	10.5	11.5	14	32	13	16.3	8.0	49.0
Ab (m ² /ha)	68	42	46	56	64	52	54.7	10.1	18.5
Volumen (m ³ /ha)	613	399	262	535	615	432	476	138	29
Sup. parcela	197.4	149.6	162.7	178.5	400.7	177.8	211.1	94.3	44.6
No. Árboles /ha	861	702	707	784	799	731	764.0	62.2	8.1
DQM	0.32	0.28	0.29	0.30	0.32	0.30	0.3	0.0	5.5
Índice Reineke	1261	823	886	1059	1184	985	1033	169	16
No. A. Dapmed DCD	2	1	2	2	4	2	2.1	0.9	44.6
H med D,CD	18.70	22.70	15.20	21.30	23.70	17.30	19.8	3.3	16.7
Fe (%)	18.2	16.6	24.7	16.8	14.9	21.4	18.8	3.6	19.4
Esp. Medio	3.41	3.78	3.76	3.57	3.54	3.70	3.6	0.1	4.0
DAP med D,CD	0.393	0.477	0.361	0.387	0.466	0.342	0.4	0.1	13.7
Coef. Esp.	8.67	7.91	10.41	9.23	7.59	10.81	9.1	1.3	14.3
Coef. Esbeltez	61.57	64.06	48.73	65.01	61.33	66.74	61.2	6.5	10.6
Ind. Estabilidad	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.0	5.7
Densidad relativa	12	8	9	10	11	9	9.9	1.6	15.9
IDR calculado	1256	821	884	1056	1179	982	1030	168	16

Coefficientes silviculturales finales									
No. de parcela:	1	2	3	4	5	6	Media	Desvío	CV (%)
Dap med.final	0.37	0.32	0.32	0.33	0.37	0.31	0.34	0.02	7.32
AB rem. (m²/ha)	24.00	22.00	22.00	22.00	24.00	22.00	22.67	1.03	4.56
DQM Final	0.37	0.31	0.32	0.32	0.37	0.31	0.33	0.03	8.26
N. árb. Reman. Final	227	289	273	276	226	294	264.20	30.16	11.42
% Raleo	74	59	61	65	72	60	65.02	6.29	9.68
IDR FINAL Reineke	420	411	407	407	420	413	412.87	6.01	1.46
IDR FINAL calculado	418	409	405	406	417	411	410.98	5.53	1.35
DAP med D,CD	0.39	0.48	0.36	0.39	0.41	0.34	0.39	0.05	12.00
CE final (desp.raleo)	16.93	22.70	15.20	21.30	22.80	17.30	19.37	3.29	16.99
Fe final (%)	35	26	40	28	29	34	32.06	5.18	16.15
Dr final	4.0	3.9	3.9	3.9	4.0	4.0	3.93	0.03	0.86
Volúmenes (m³/ha)									
Volumen extraído	400	185	99	321	371	249	271	115	43
Volumen Remanente	214	213	163	213	244	183	205	28	14

Cuadro No 120. Planilla resumen de cálculos para el Monte 5

No. de parcela:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
DAP													
No. árb. por parcela:	21	23	26	22	25	25	34	30	33	22	21	26	25
Media	0.28	0.28	0.28	0.24	0.27	0.31	0.32	0.31	0.30	0.31	0.23	0.25	0.32
Desvío	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07	0.05	0.03	0.06	0.07
CV	19.76	17.36	21.28	20.36	22.03	17.38	19.31	19.07	22.72	16.37	15.11	24.57	22.66
Coefficientes silvícolas calculados previo al raleo													
N (1/0,5) total	18	17.5	22	17.5	21	21	26.5	23	26.5	16	15.5	22.5	21
Ab (m²/ha)	36	35	44	35	42	42	53	46	53	32	31	45	42
Volumen (m³/ha)	275	303	356	257	359	377	472	418	424	279	207	333	336
Sup. parcela	267.2	291.5	261.5	211.1	233.0	349.9	373.3	348.0	305.8	367.4	201.4	202.4	374.7
No. Árboles /ha	674	600	841	829	901	600	710	661	867	435	769	1112	560
DQM	0.26	0.27	0.26	0.23	0.24	0.30	0.31	0.30	0.28	0.31	0.23	0.23	0.31
Índice Reineke	721	689	885	735	865	798	994	875	1034	602	657	952	787
No. A. Dapmed DCD	3	3	3	2	2	3	4	3	3	4	2	2	4
H med D,CD	12.00	18.60	18.20	17.65	19.80	20.73	20.68	21.80	20.40	18.75	15.20	17.10	18.90
Fe (%)	32.1	21.9	18.9	19.7	16.8	19.7	18.2	17.8	16.7	25.6	23.7	17.5	22.3
Esp. Medio	3.85	4.08	3.45	3.47	3.33	4.08	3.75	3.89	3.40	4.79	3.61	3.00	4.22
DAP med D,CD	0.368	0.371	0.368	0.339	0.365	0.396	0.423	0.410	0.435	0.384	0.286	0.356	0.442
Coef. Esp.	10.46	10.99	9.36	10.25	9.12	10.31	8.87	9.50	7.81	12.48	12.58	8.43	9.55
Coef. Esbeltez	63.04	58.41	60.93	58.39	70.06	57.72	55.95	62.57	55.79	60.26	62.09	63.03	52.49
Ind. Estabilidad	0.44	0.53	0.52	0.52	0.56	0.54	0.50	0.54	0.48	0.51	0.54	0.51	0.44
Densidad relativa	7	7	9	7	9	8	10	8	10	6	7	9	8
IDR calculado	721	688	885	735	865	795	991	872	1032	600	658	954	784

No. de parcela:	14	15	16	17	18	19	20	21	Total parcelas		
DAP											
No. árb. por parcela:	28	26	27	27	27	33	25	24	Media	Desvío	CV (%)
Media	0.31	0.30	0.30	0.35	0.32	0.32	0.31	0.33	0.30	0.03	10
Desvío	0.07	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.01	16
CV	21.94	16.42	19.67	18.44	22.00	22.51	20.99	18.84	19.94	2.50	13
Coefficientes silvícolas calculados previo al raleo											
N (1/0,5) total	23	22	23	22	21	27	18.5	20.5			
Ab (m ² /ha)	46	44	46	44	42	54	37	41	42.38	6.45	15
Volumen (m ³ /ha)	386	395	381	414	370	485	314	261	352.57	72.20	20
Sup. parcela	312.3	314.8	310.8	441.9	363.3	359.3	326.0	378.3	314.00		
No. Árboles /ha	736	699	740	498	578	751	567	542	698.68	157.29	23
DQM	0.28	0.28	0.28	0.34	0.30	0.30	0.29	0.31	0.28	0.03	11
Índice Reineke	894	853	895	798	792	1020	713	767	825.00	118.32	14
No. A. Dapmed DCD	3	3	3	4	4	4	3	4	3.14		
H med D,CD	19.97	21.00	18.77	23.10	21.40	21.90	20.50	15.15	19.12	2.63	14
Fe (%)	18.5	18.0	19.6	19.4	19.4	16.7	20.5	28.4	20.54	4.00	19
Esp. Medio	3.69	3.78	3.68	4.48	4.16	3.65	4.20	4.30	3.85	0.43	11
DAP med D,CD	0.397	0.367	0.398	0.427	0.419	0.460	0.421	0.405	0.39	0.04	10
Coef. Esp.	9.29	10.32	9.24	10.51	9.92	7.93	9.97	10.61	9.88	1.23	12
Coef. Esbeltez	53.95	67.59	58.14	60.60	56.37	59.00	60.78	63.81	60.05	4.24	7
Ind. Estabilidad	0.52	0.58	0.50	0.54	0.50	0.50	0.49	0.19	0.50	0.08	16
Densidad relativa	9	8	9	8	8	10	7	7	8	1.15	14.3
IDR calculado	892	852	893	794	789	1017	711	764	823.45	118.00	14

Coefficientes silvícolas finales													
No. de parcela:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Dap med.final	0.28	0.29	0.30	0.25	0.29	0.31	0.34	0.29	0.29	0.31	0.23	0.26	0.35
AB rem. (m²/ha)	20.00	20.00	20.00	19.00	20.00	20.00	22.00	20.00	20.00	21.00	18.00	19.00	23.00
DQM Final	0.28	0.28	0.29	0.25	0.28	0.29	0.34	0.29	0.27	0.31	0.22	0.24	0.33
N. árb. Reman. Final	323	316	311	398	334	312	246	312	352	281	464	428	262
% Raleo	52	47	63	52	63	48	65	53	59	35	40	62	53
IDR FINAL Reineke	389	388	386	389	392	387	398	387	396	394	384	395	418
IDR FINAL calculado	388	387	385	389	391	386	396	386	395	392	385	395	416
DAP med D,CD	0.32	0.35	0.36	0.34	0.35	0.38	0.39	0.35	0.39	0.37	0.28	0.33	0.42
CE final (desp.raleo)	17.42	16.15	15.80	14.92	15.55	14.82	16.42	16.29	13.61	16.06	16.57	14.50	14.74
Fe final (%)	31	30	31	28	28	28	32	29	29	32	31	28	33
Dr final	3.8	3.8	3.7	3.8	3.8	3.7	3.8	3.7	3.9	3.8	3.8	3.9	4.0
Volúmenes (m³/ha)													
Volumen extraído	114	131	189	115	184	200	269	238	277	95	88	186	148

Coefficientes silvícolas finales											
No. de parcela:	14	15	16	17	18	19	20	21	Media	Desvío	CV (%)
Dap med.final	0.33	0.31	0.29	0.37	0.36	0.32	0.32	0.33	0.31	0.03	11
AB rem. (m²/ha)	21.00	21.00	20.00	22.00	22.00	21.00	21.00	21.00	20.52	1.17	6
DQM Final	0.31	0.30	0.28	0.36	0.36	0.31	0.30	0.32	0.29	0.04	12
N. árb. Reman. Final	270	303	327	213	220	280	300	256	309.98	62.68	20
% Raleo	63	57	56	57	62	63	47	53	54.77	8.07	15
IDR FINAL Reineke	391	400	390	387	390	394	399	387	392.28	7.36	2
IDR FINAL calculado	389	398	389	385	387	392	398	385	391.26	7.16	2
DAP med D,CD	0.39	0.35	0.36	0.41	0.40	0.43	0.41	0.39	0.37	0.04	10
CE final (desp.raleo)	15.67	16.24	15.18	16.56	17.00	14.03	14.20	16.15	15.61	1.03	7
Fe final (%)	30	27	29	31	34	28	29	29	29.87	1.84	6
Dr final	3.7	3.9	3.8	3.7	3.7	3.8	3.8	3.7	3.8	0.07	2
Volúmenes (m³/ha)											
Volumen extraído	208	201	216	207	173	294	134	134	180.96	58.92	33
Volumen Remanente	179	195	165	207	197	191	181	127	171.61	23.83	14

Cuadro No. 131. Planilla resumen de cálculos para el Monte 6

No. de parcela:	1	2	3	4	5	6	Total parcelas		
No. árb. Por parcela:	23	30	24	27	32	25	Media	Desvío	CV (%)
DAP									
Media	0.21	0.20	0.19	0.25	0.21	0.19	0.21	0.02	11.00
Desvío	0.05	0.05	0.04	0.04	0.06	0.04	0.05	0.01	13.99
CV	23.61	24.21	19.76	17.34	25.80	22.08	22.13	3.12	14.08
Coefficientes silvícolas calculados previo al raleo									
N (1/0,5) total	19.5	24	21	21	23	20.5	22	2	8
Ab (m ² /ha)	39	48	42	42	46	41	43	3	8
Volumen (m ³ /ha)	250	269	280	321	326	242	281	36	13
Sup. Parcela	152.9	138.8	120.6	225.2	151.1	129.9	153	37	24
No. Árboles /ha	1275	1729	1741	932	1522	1578	1463	310	21
DQM	0.20	0.19	0.18	0.24	0.20	0.18	0	0	12
Índice Reineke	872	1094	985	870	1031	947	967	89	9
No. A. Dapmed DCD	2	1	1	2	2	1	2	0	24
H med D,CD	14.55	14.30	16.20	8.60	18.00	15.00	14.44	3.17	21.95
Fe (%)	19.2	16.8	14.8	38.1	14.2	16.8	19.99	9.04	45.19
Esp. Medio	2.80	2.40	2.40	3.27	2.56	2.52	2.66	0.34	12.61
DAP med D,CD	0.302	0.331	0.239	0.329	0.366	0.318	0.31	0.04	13.54
Coef. Esp.	9.26	7.26	10.04	9.94	7.00	7.91	8.57	1.35	15.76
Coef. Esbeltez	64.49	49.07	72.68	61.99	63.41	66.51	63.03	7.79	12.36
Ind. Estabilidad	0.48	0.41	0.68	0.40	0.52	0.26	0.46	0.14	30.48
Densidad relativa	9	11	10	9	10	10	9.7	0.95	9.79
IDR calculado	876	1099	990	871	1035	952	970.53	89.98	9.27

Coefficientes silviculturales finales									
No. de parcela:	1	2	3	4	5	6	Media	Desvío	CV (%)
Dap med.final	0.21	0.22	0.19	0.25	0.21	0.18	0.21	0.03	12.52
AB rem. (m2/ha)	17.00	18.00	17.00	20.00	18.00	16.00	17.67	1.37	7.73
DQM Final	0.19	0.21	0.19	0.25	0.21	0.17	0.20	0.03	14.57
N. árb. Reman. Final	573	531	623	393	535	734	564.76	112.81	19.97
% Raleo	55	69	64	58	65	53	60.80	6.26	10.30
IDR FINAL Reineke	383	395	389	405	395	383	391.39	8.48	2.17
IDR FINAL calculado	384	396	391	404	396	385	392.71	7.70	1.96
DAP med D,CD	0.28	0.30	0.24	0.30	0.26	0.22	0.26	0.03	12.35
CE final (desp.raleo)	14.96	14.66	16.79	16.94	16.77	17.05	16.20	1.08	6.68
Fe final (%)	27	39	25	31	27	25	29.10	5.30	18.21
Dr final	3.9	3.9	3.9	4.0	4.0	3.9	3.9	0.04	1.01
Volúmenes (m³/ha)									
Volumen extraído	141.85	169.53	166.10	168.12	198.53	147.63	165.29	19.96	12.08
Volumen Remanente	107.72	99.50	113.55	152.84	127.70	94.09	115.90	21.54	18.59

ANEXO IV – FÓRMULAS UTILIZADAS

Cuadro No. 142. Resumen de fórmulas

Etapa	Parámetro	Fórmula	Id.	Fuente:	
Cálculo de coeficientes silvícolas	Modelo lineal	$\log N = C + \beta \log (DQM)$	8	Ortiz (1989)	
	IDR fórmula simplificada	$IDR = N \left(\frac{DQM}{25} \right)^\beta$	9		
	Modelo de Reineke:	$Log(N) = -1,605 \times Log(DQM) + k$	3	Cabrelli et al. (1993)	
	IDR en sistema métrico decimal (Reineke)		$IDR = 1,0147 \times 10^{Log(N)+1,605 \times Log(DQM \times 100) - 2,25}$	4	Rebottaro et al. (2007)
		Fórmula simplificada:	$IDR = N \times \left(\frac{DQM}{25} \right)^{1,605}$	5	
	Modelo lineal con parámetros calculados		$Log(N/ha) = -1,598 \times Log(DQM) + 5,201$	11	elaboración propia
IDR con pendiente calculada		$IDR = N^\circ a / ha \times \left(\frac{DQM}{25} \right)^{1,598}$	1	elaboración propia	

	Área Basal	$AB = \frac{\pi}{4} \sum (di)^2$ <p>di = diametro a la altura del pecho del i-ésimo árbol.</p>	2	Orozco y Brumer (2002)
	Diámetro cuadrático medio	$DQM = \sqrt{\frac{4 \times AB}{\pi \times N^{\circ} arb}}$	13	
	Número de árboles por ha ¹	$Narb/ha = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{4 \times N_i \times FAB}{DAP_i^2 \times \pi}$	10	
	Espaciamiento medio ¹	$\bar{e} = \sqrt{\frac{10000}{N^{\circ} arb / ha}}$	14	
	Factor de espaciamiento ¹	$Fe(\%) = \frac{\bar{e}}{Ht_{D,CD}}$	15	
	Relación IDR-DR	$DR = \frac{1}{5} \times (N)^{\frac{1}{2 \times P}} \times \frac{AB}{(IDR)^{\frac{1}{2 \times P}}}$	12	elaboración propia

	No. árboles para DAP medio de D y CD ¹	$N^{\circ} arb. \overline{DAP}_{D,CD} = \frac{Sup.par. * 100}{10000}$	16	
	DAP medio de D y CD ¹	$\overline{DAP}_{D,CD} = prom_{Dap}(n...n - N^{\circ} A. \overline{DAP}_{D,CD})$	17	
	Coefficiente de espaciamiento ¹	$Ce (\%) = \frac{\bar{e}}{DAP_{D,CD}}$	18	
	Densidad relativa	$DR = \frac{AB}{\sqrt{DQM}}$	6	Curtis (1982)
	Coefficiente de esbeltez ¹	$C_{esb.} = \frac{H [cm]}{DAP [cm]}$	19	
Índices calculados	Árboles remanentes:	$Arb.rem. = \frac{superficie}{Ce * \overline{DAP}_{D,CD}}$	20	

Fórmulas utilizadas: IDR (previas a simulación de raleo):

	Árboles a sacar por hectárea:	$A/ha = N^{\circ} tot.arb/ha - N^{\circ} arb.rem.$	21	
	Árboles a sacar por parcela:	$A/par = \frac{N^{\circ} arb._a_sacar/ha \times Sup.parcela}{10000}$	22	
	Porcentaje de raleo:	$\% raleo = \frac{N^{\circ} arb._a_sacar/ha \times 100}{N^{\circ} arb./ha}$	23	

INVENTARIO	Factor de área basal	$FAB = 10^4 \times \frac{1}{4} \times (d/L)^2 \Rightarrow d = 2\sqrt{\frac{FAB}{10^4}}$	24	Sorrentino (1996)
	Volumen trozas (Smalian):	$VT = \frac{\pi}{8} \left[D^2_0 + D^2_n + 2 \sum_{i=1}^{n-1} D^2_i \right]$	25	
	Volumen tocón:	$V_{tocon} = \frac{\pi}{4} H_{tocon} * D^2_{base}$	26	
	Volumen cono superior:	$V_{cono} = \frac{1}{3} B * H$	27	
	Volumen real del árbol:	$V_{real} = V_{tocon} + V_{trozas} + V_{cono}$	28	
	Volumen aparente:	$V_{aparente} = \frac{\pi}{4} DAP^2 * Ht_{arbol}$	29	

	Factor de Forma:	$FF = \frac{V_{real}}{V_{aparente}}$	30	
	Tamaño mínimo de muestra	$n = \frac{t^2 \times CV^2}{Er^2}$	7	
	Área basal: Muestreo Bitterlich.	$Ab = FAB \times N$	31	
	Volumen: Muestreo Bitterlich	$Volumen = Ab \times H \times FF$	32	
	Superficie de cada parcela	$Sup. \text{ par.} = \frac{N^{\circ} \text{ tot. arb. parcela} * 10000}{N^{\circ} \text{ arb. / ha}}$	33	
	No. de árboles por hectárea:	$Narb/ha = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{4 \times N_i \times FAB}{DAP_i^2 \times \pi}$	34	

Figura No. 24 Secuencia de cálculo

